

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



**GENERACIÓN DE MODELOS DIGITALES DE  
TERRENO OBTENIDOS A TRAVÉS DE  
LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS CON  
VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO DRONE**

PRESENTADO POR:  
**MARIELA ARACELY SALGUERO RODRÍGUEZ**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:  
**INGENIERA CIVIL**

CIUDAD UNIVERSITARIA, JULIO DE 2023

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

**RECTOR :**

**MSc. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO**

**SECRETARIO GENERAL:**

**ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**DECANO :**

**Ph.D. EDGAR ARMANDO PEÑA FIGUEROA**

**SECRETARIO :**

**ING. JULIO ALBERTO PORTILLO**

**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

**DIRECTOR :**  
(Interino)

**ING. FREDY FABRICIO ORELLANA CALDERÓN**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

**INGENIERA CIVIL**

Título :

**GENERACIÓN DE MODELOS DIGITALES DE  
TERRENO OBTENIDOS A TRAVÉS DE  
LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS CON  
VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO DRONE**

Presentado por :

**MARIELA ARACELY SALGUERO RODRÍGUEZ**

Trabajo de Graduación Aprobado por :

Docente Asesor :

**ING. WILFREDO AMAYA ZELAYA**

San Salvador, julio de 2023

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor :

**ING. WILFREDO AMAYA ZELAYA**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco primeramente a Dios por brindarme salud, perseverancia y fortaleza para seguir adelante.

A mi familia por todo el apoyo que me han brindado a lo largo de mis estudios, así como su comprensión y estímulos para continuar con ellos a pesar de las dificultades, siendo ellos el motor que me impulso para continuar.

A mi asesor de tesis, Ing. Wilfredo Amaya Zelaya por proporcionarme el préstamo del equipo utilizado y más que todo por el conocimiento compartido, por su paciencia, por el apoyo que me mostro siempre y por el tiempo dedicado a esta investigación, algo que jamás podre retribuirle.

A los docentes de la Universidad del El Salvador que ayudaron en mi formación académica por compartir sus conocimientos.

A mi compañero Melvin Esaú Rodríguez, por brindarme su apoyo para la realización del levantamiento fotogramétrico.

A todos mis compañeros y amigos que me apoyaron directa o indirectamente en este proceso, por sus recomendaciones y sugerencias.

## **DEDICATORIA**

A Dios por brindarme lo necesario para culminar esta etapa de mi vida.

A mis amados padres Ana Aracelis Rodríguez y Walter de Jesús Salguero por darme su apoyo incondicional, porque a pesar de las circunstancias siempre están ahí para ayudarme, por sus sacrificios para brindarme lo que he necesitado y sus consejos para guiarme por el mejor camino.

A mis hermanos, Walter Alexander Salguero Rodríguez, Francisco Xavier Salguero Rodríguez y Kevin Vladimir Salguero Rodríguez por ser mis guardianes, por acompañarme, apoyarme y brindarme consejos.

A mi amado compañero de vida Emerson Josué Morales Nieto, por siempre apoyar mis metas y sueños, por brindarme su apoyo incondicional y ayuda para poder finalizar este proceso, a sus padres Zuleima Nieto y Manuel Morales por acogerme en su hogar, por brindarme su apoyo en estos últimos años y por todos sus consejos los cuales me han guiado.

A mi amado hijo Leo Sebastián Morales Salguero, por convertirse en el motor que impulsa mi vida, siendo lo mejor que me ha pasado y ha llegado en el momento justo para darme el último empujón que me faltaba para terminar el proyecto.

A mis amigos y familiares que me brindaron sus consejos y apoyo a lo largo de mis estudios.

A todos mis compañeros que estuvieron ahí en esta etapa, que me ayudaron y apoyaron que sufrieron conmigo las dificultades que se presentan en la carrera, por ser unos grandes compañeros.

A todos los docentes que contribuyeron en mi preparación profesional, especialmente a mi docente asesor el ingeniero Wilfredo Amaya.

**Mariela Aracely Salguero Rodríguez.**

## **RESUMEN**

Esta investigación se realizó con el propósito de obtener los Modelos Digitales de Terreno generados con diferentes softwares de procesamiento de datos obtenidos por medio de un levantamiento fotogramétrico de un área de terreno ubicado en la parte norte de la Universidad de El Salvador conocido como la bóveda o Arenal de Mejicanos.

El cuerpo de este trabajo de investigación se divide en 6 capítulos, la primera parte presenta las generalidades propuestas en el anteproyecto, esta incluye los antecedentes en donde se presenta una breve reseña histórica de la fotogrametría y su evolución, luego se define el planteamiento del problema de la investigación, los objetivos principales y específicos, los alcances que exponen hasta donde se pretende llegar con esta investigación, las limitaciones que se nos presentaron en el transcurso de la investigación y las justificaciones por las que consideramos sea necesaria esta investigación, el segundo capítulo se basa en los fundamentos teóricos con respecto a la topografía y su subrama en la cual nos centramos que es la fotogrametría, específicamente el levantamiento con drones de áreas de terreno, el fin de este capítulo es brindar un léxico mínimo de las ramas mencionadas para comprender lo primordial antes de entrar por completo en materia, luego en el capítulo tres se presenta a detalle los pasos para realizar levantamientos topográficos por los diferentes métodos conocidos, Estación total, Sistema GNSS y Levantamiento fotogramétrico, se detalla la

metodología utilizada para cada tipo de levantamiento realizado, el equipo necesario, sus configuraciones y el procedimiento paso a paso para generar el levantamiento, al final se muestran los datos obtenidos o recolectados por cada método utilizado, cabe destacar que la información y datos mostrados en las partes de Levantamiento con Estación total y levantamiento con técnicas GNSS son obtenidos de la Tesis “ANÁLISIS COMPARATIVO DE MODELOS DIGITALES DE TERRENO OBTENIDOS CON TÉCNICAS SATELITALES GNSS Y ESTACIÓN TOTAL” y en esta investigación se brinda seguimiento a lo realizado en el documento mencionado realizando el levantamiento fotogramétrico en la misma área de terreno y así realizar un comparativo entre los tres métodos, en el siguiente capítulo nos centramos en lo principal de esta investigación que es la generación de modelos digitales de terreno obtenidos a través del levantamiento topográfico con vehículo aéreo no tripulado dron, se muestra el paso a paso para realizar el procesamiento de las fotografías obtenidas del levantamiento fotogramétrico en 3 diferentes softwares, luego en el siguiente capítulo mostramos un análisis, mostrando en primer lugar las ventajas de cada software utilizado y posteriormente se muestra un comparativo de los diferentes modelos digitales obtenidos desde los presentados con levantamiento con estación total y GPS así como los obtenidos por medio del levantamiento fotogramétrico, finalmente en el último capítulo se detallan las conclusiones a las que se llegaron con esta investigación así como las recomendaciones que surgieron.

## ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	v
DEDICATORIA .....	vi
RESUMEN.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xvii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xxxi
INTRODUCCIÓN.....	xxxii
CAPÍTULO I: GENERALIDADES.....	1
1.1    Antecedentes .....	1
1.2    Planteamiento del problema .....	5
1.3    Objetivos .....	7
1.3.1    Objetivo general .....	7
1.3.2    Objetivos específicos .....	7
1.4    Alcances.....	8
1.5    Limitaciones .....	9
1.6    Justificación.....	10
CAPÍTULO II: FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	12
2.1    Topografía .....	12
2.1.1    Geodesia.....	12
2.1.2    Topografía plana .....	13
2.1.3    Fotogrametría.....	15

2.2	Fundamentos de la topografía plana .....	17
2.2.1	Altimetría o control vertical .....	18
2.2.2	Planimetría o control horizontal .....	22
2.2.3	Planimetría y altimetría simultáneas .....	23
2.2.4	Clases de levantamientos de topografía plana .....	25
2.2.4.1	Levantamientos de tipo general (lotes y parcelas) .....	25
2.2.4.2	Levantamiento longitudinal o de vías de comunicación .....	26
2.2.4.3	Levantamientos de minas .....	28
2.2.4.4	Levantamientos hidrográficos .....	29
2.2.4.5	Levantamientos catastrales y urbanos .....	30
2.2.5	Errores de las mediciones topográficas .....	31
2.2.5.1	Errores sistemáticos o acumulativos .....	33
2.2.5.2	Errores accidentales, aleatorios o compensatorios .....	34
2.3	Fundamentos de la fotogrametría .....	34
2.3.1	Definición de fotogrametría .....	34
2.3.2	Clasificación de la fotogrametría .....	36
2.3.2.1	Fotogrametría terrestre .....	36
2.3.2.2	Fotogrametría aérea .....	37
2.3.2.3	Fotogrametría analógica .....	37
2.3.2.4	Fotogrametría analítica .....	38

2.3.2.5 Fotogrametría digital.....	38
2.3.3 Método de la fotogrametría .....	39
2.3.4 Proceso fotogramétrico digital .....	41
2.3.4.1 Entrada de los datos.....	41
2.3.4.2 Procesamiento .....	42
2.3.4.3 Resultados .....	43
2.3.5 Ventajas y limitaciones de la fotogrametría .....	44
2.3.5.1 Ventajas de la fotogrametría.....	44
2.3.5.2 Desventajas de la fotogrametría.....	45
2.4 Generalidades de los drones .....	46
2.4.1 Definición de drone .....	46
2.4.2 Funcionamiento de drones .....	47
2.4.2.1 Arquitectura del sistema .....	49
2.4.3 Tipos de drones .....	51
2.4.4 Tipos de sensores .....	53
2.4.5 Usos y aplicaciones de drones.....	56
2.4.6 Precisiones.....	64
2.5 Principios básicos para el levantamiento fotogramétrico con drone .....	66
2.5.1 Factores claves para la preparación de vuelo .....	67
2.5.2 Puntos de control terrestre .....	69
2.5.3 Problemas durante el vuelo.....	74

CAPÍTULO III: LEVANTAMIENTO EN CAMPO .....	76
3.1 Descripción del lugar de levantamiento .....	76
3.1.1 Ubicación .....	76
3.1.2 Geología de la zona .....	77
3.2 Levantamiento topográfico con estación total .....	82
3.2.1 Guía básica del uso de la estación total y configuración .....	83
3.2.2 Guía básica del uso del colector de datos y configuración .....	88
3.2.3 Datos obtenidos con estación total.....	117
3.3 Levantamiento topográfico con técnicas GNSS.....	126
3.3.1 Metodología para la recolección de datos con técnicas GNSS.....	126
3.3.2 Guía básica de uso para equipos GNSS utilizando técnica RTK.....	127
3.4.3 Datos obtenidos con técnica RTK .....	144
3.4 Tabla comparativa de coordenadas de levantamiento con estación total y con GPS .....	152
3.5 Levantamiento fotogramétrico con <i>drone</i> .....	163
3.4.1 Metodología para la recolección de datos por medio de drone.....	163
3.4.2 Guía básica para el levantamiento con drone.....	165
3.4.3 Datos obtenidos con vuelo con drone.....	178
CAPÍTULO IV: PROCESAMIENTO DE DATOS .....	179
4.1 Agisoft Metashape: procesamiento de datos .....	179
4.1.1 Creación de proyecto nuevo.....	179

4.1.2 Importar la información.....	181
4.1.3 Sistema de referencia geodésico .....	184
4.1.4 Calibración de las fotografías .....	191
4.1.5 Orientación de las imágenes .....	197
4.1.6 Importar información de puntos de control .....	200
4.1.7 Generación de nube de puntos densa.....	207
4.1.8 Clasificación de la nube de puntos .....	209
4.1.9 Generación de malla y textura.....	219
4.1.10 Generación de MDE y MDT. ....	222
4.1.11 Generación de Ortomosaico.....	225
4.1.12 Generar curvas de nivel .....	227
4.1.13 Cálculo de volumen.....	229
4.1.14 Exportación de productos finales.....	232
4.1.15 Generación de informe de procesamiento.....	235
4.2 Pix4D Mapper: Procesamiento de datos.....	238
4.2.1 Creación de proyecto nuevo.....	238
4.2.2 Importación de datos.....	240
4.2.3 Sistema de Referencia Geodésico .....	243
4.2.4 Selección de opción de procesamiento .....	246
4.2.5 Procesamiento inicial .....	248
4.2.6 Reporte de calidad y Generación de Nube de puntos .....	250

4.2.7 Creación de Puntos de paso .....	252
4.2.8 PCF o Puntos de Apoyo .....	258
4.2.9 Generación de Nube densa de puntos .....	263
4.2.10 Ortomosaico, MDE, MDT y curvas de nivel .....	266
4.3 Global Mapper: Procesamiento de datos .....	271
4.3.1 Creación de capa para PCF .....	271
4.3.2 Importación de Imágenes .....	275
4.3.3 Importación de PCF .....	276
4.3.4 Creación de máscaras .....	278
4.3.5 Creación de Nube de Puntos y Ortomosaico .....	279
4.3.6 Clasificación de nube de puntos .....	284
4.3.6.1 Clasificación Manual .....	284
4.3.6.2 Clasificación Automática .....	286
4.3.7 Creación de MDE y MDT .....	289
4.3.8 Generación de Curvas de nivel .....	294
CAPÍTULO V: ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	296
5.1 Ventajas sobre los softwares de procesamientos utilizados .....	296
5.1.1 Ventajas de Agisoft Metashape .....	296
5.1.2 Ventajas de Pix4D Mapper .....	297
5.1.3 Ventajas de Global Mapper .....	297

5.2 Comparación de los MDT obtenidos por los diferentes levantamientos y procesamientos .....	298
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	308
6.1 Conclusiones.....	308
6.2 Recomendaciones.....	312
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	316
ANEXOS .....	317
Glosario técnico .....	318
Registro fotográfico del levantamiento fotogramétrico.....	324
Informes de procesamientos.....	327

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tipos de niveles.....	19
Figura 2. Nivelación trigonométrica.....	20
Figura 3. Esquema de un Levantamiento Topográfico usando RTK .....	21
Figura 4. Gravímetro.....	22
Figura 5. Teodolito y Estación Total.....	24
Figura 6. GNSS .....	25
Figura 7. Funcionamiento del drone .....	47
Figura 8. Diagrama arquitectura del sistema.....	49
Figura 9. Diagrama levantamiento dron RTK.....	50
Figura 10. Dron ala fija.....	51
Figura 11. Dron ala rotatoria .....	52
Figura 12. Dron VTOL .....	53
Figura 13. Cámara RGB .....	53
Figura 14. Distancia focal .....	54
Figura 15. Cámara multiespectral .....	55
Figura 16. Cámara Térmica .....	55
Figura 17. Imagen con técnica LIDAR .....	56
Figura 18. Minidrones.....	64
Figura 19. Ejemplo precisión relativa .....	65
Figura 20. Ejemplo precisión absoluta .....	65

Figura 21. Resolución espacial imagen a 5cm.....	66
Figura 22. Receptores GNSS .....	69
Figura 23. Estación total .....	70
Figura 24. Distribución de puntos de control terrestre - Polígono.....	70
Figura 25. Distribución de puntos de control terrestre - Corredor.....	71
Figura 26. Identificación de los puntos de control terrestre .....	71
Figura 27. Altura Elipsoidal vs Altura Ortométrica .....	73
Figura 28. Ejemplo error por pérdida de telemetría.....	74
Figura 29. Ejemplo error por planificación de vuelo deficiente .....	75
Figura 30. Ubicación de lugar de levantamiento .....	76
Figura 31. Ubicación, formaciones geológicas y esquema estructural del AMSS.....	77
Figura 32. Mapa geológico escala 1:50,000 del AMSS.....	78
Figura 33. Estratigrafía de TBJ .....	82
Figura 34. Esquema representativo de la constante de prisma.....	84
Figura 35. Calibración de constante de prisma en estación total .....	85
Figura 36. Calibración de constante de prisma en estación total .....	86
Figura 37. Configuración de Baudios en estación total y colector. ....	87
Figura 38. Opción de apertura de archivo.....	88
Figura 39. Apertura de un nuevo trabajo.....	89
Figura 40. Nombre del archivo.....	89
Figura 41. Configuración de unidades de medida. ....	90

Figura 42. Configuración de coordenadas de punto ocupado. ....	91
Figura 43. Configuración de sincronización Colector-Estación.....	92
Figura 44. Creación de un nuevo instrumento. ....	92
Figura 45. Selección de la marca del equipo. ....	93
Figura 46. Selección del modelo del equipo.....	94
Figura 47. Configuración de Baudios en estación total y colector. ....	95
Figura 48. Configuraciones estáticas. ....	95
Figura 49. Ingreso a sección B. ....	96
Figura 50. Insertar punto No 2. ....	97
Figura 51. Nombre y descripción de punto.....	97
Figura 52. Coordenadas de punto de amarre. ....	98
Figura 53. Configuración de vista atrás (Backsight). ....	99
Figura 54. Menú vista atrás (Backsight). ....	99
Figura 55. Selección del punto ocupado. ....	100
Figura 56. Selección del punto para vista atrás. ....	101
Figura 57. Backsight configurado.....	101
Figura 58. Puesta en cero para línea base, pantalla generada por “Circle”.....	102
Figura 59. Pantalla generada por “Solve”. ....	103
Figura 60. Definición de línea base.....	103
Figura 61. Ingreso de nombre y descripción de punto y Side Shot. ....	104
Figura 62. Uso de Traverse. ....	106

Figura 63. Confirmación de movimiento del equipo. ....	106
Figura 64. Ingreso de nueva altura de aparato .....	107
Figura 65. Sección 4, ajuste de poligonal. ....	109
Figura 66. Selección del método de ajuste. ....	110
Figura 67. Definición del rango de puntos.....	110
Figura 68. Confirmación para seguir ajuste.....	111
Figura 69. Selección del tipo de poligonal.....	111
Figura 70. Ajustar poligonal. ....	112
Figura 71. Finalizar ajuste.....	113
Figura 72. Sección D, exportar datos.....	113
Figura 73. Selección del formato de datos. ....	114
Figura 74. Editar rango de datos.....	114
Figura 75. Ingreso de rango de datos. ....	115
Figura 76. Edición del formato de datos.....	115
Figura 77. Formato de exportación. ....	116
Figura 78. Nombrar el archivo.....	117
Figura 79. Enroscado de cable de antena a equipo. ....	128
Figura 80. Enroscado de antena a dispositivo. ....	128
Figura 81. Colocado de batería externa al equipo.....	129
Figura 82. Colocado de cable de alimentación. ....	129
Figura 83. Rover armado en bastón con burbuja. ....	130

Figura 84. Ingreso a Localización. ....	131
Figura 85. Nombre de proyección. ....	131
Figura 86. Ingreso de parámetros de Sistema de Referencia Local. ....	131
Figura 87. Ingresos de parámetros y selección de sistema creado. ....	132
Figura 88. Activar Bluetooth y crear nuevo trabajo. ....	133
Figura 89. Nombre de proyección y sistema de unidades. ....	133
Figura 90. Configuración de Base y selección del tipo de equipo. ....	134
Figura 91. Configuración de la conexión. ....	135
Figura 92. Selección del equipo a conectar y tipo de puerto. ....	136
Figura 94. Medición de altura de antena. ....	137
Figura 93. Ingreso de altura de antena y máscara. ....	137
Figura 95. Selección del tipo de antena y tecla de ingreso de coordenadas. ....	138
Figura 96. Ingreso de coordenadas de punto fijo, nombre y descripción. ....	138
Figura 97. Ingreso a sección 3 (Rover). ....	139
Figura 98. Configuración de conexión del Rover ingreso de altura de equipo y máscara. 140	
Figura 99. Selección del tipo de antena e inicio de levantamiento. ....	140
Figura 100. Captura de punto y almacenamiento. ....	142
Figura 101. Sección 7 y exportación de fichero levantado. ....	143
Figura 102. Formato de datos y asignación de nombre a nuestro archivo de exportación. 143	

Figura 103. Pantalla principal de aplicación DJI Go.....	164
Figura 104. Pantalla principal de aplicación Pix4Dcapture.....	165
Figura 105. Componentes de drone DJI Mavic 2 Pro.....	166
Figura 106. Paso a paso de armado de control remoto del drone y conexión del smartphone.....	167
Figura 107. Paso a paso de armado del drone. ....	168
Figura 108. Drone DJI Mavic 2 Pro armado.....	169
Figura 109. Lonas para puntos de control fotogramétrico colocadas en el terreno.....	169
Figura 110. Drone y control remoto encendidos. ....	170
Figura 111. Pantalla de estado de la aeronave con parámetros normales.....	171
Figura 112. Estatus de drone “Listo para volar”. ....	172
Figura 113. Selección de opción para “planear nueva misión”.....	172
Figura 114. Configuración de parámetros de vuelo.....	174
Figura 115. Datos generales de la misión de vuelo.....	175
Figura 116. Lista de verificación de despegue del dron. ....	176
Figura 117. Pantalla que se muestra durante la misión.....	177
Figura 118. Sincronización de fotografías a la nube. ....	177
Figura 119. Datos de PCF. ....	178
Figura 120. Fotografías obtenidas de vuelo. ....	178
Figura 121. Carpeta con la información a utilizar para procesamiento. ....	180
Figura 122. Creación de nuevo proyecto. ....	181

Figura 123. Importación de fotografías. ....	182
Figura 124. Opciones de sistema de datos. ....	183
Figura 125. Fotografías añadidas en espacio de trabajo.....	183
Figura 126. Información de las fotografías añadidas a espacio de trabajo. ....	184
Figura 127. Sistema de coordenadas registrado en fotografías automáticamente. ....	185
Figura 128. Listado desplegable, selección de coordenadas. ....	185
Figura 129. Sistema de coordenadas disponibles en software.....	186
Figura 130. Selección de un sistema de coordenadas proyectadas para edición.....	186
Figura 131. Creación de sistema de coordenadas proyectado pasos i a iii. ....	187
Figura 132. Creación de sistema de coordenadas proyectado datos completos. ....	188
Figura 133. Sistema de coordenadas definido por el usuario LAMBERT SIRGAS ES2007.8.....	189
Figura 134. Convertir referencias a LAMBERT SIRGAS ES2007.8. ....	190
Figura 135. Fotografías actualizadas a Sistema LAMBERT SIRGAS ES2007.8.....	190
Figura 136. Estimar calidad de imagen.....	191
Figura 137. Analizar fotos. ....	192
Figura 138. Procesamiento de análisis de calidad de imágenes. ....	192
Figura 139. Cambiar tamaño de cromos.....	193
Figura 140. Detalles de calidad de las fotografías.....	193
Figura 141. Ajustar brillo. ....	194
Figura 142. Brillo y contraste de imagen.....	195

Figura 143. Vista de la fotografía en pantalla principal.....	195
Figura 144. Comando de selección – Tijeras inteligentes. ....	196
Figura 145. Añadir selección a la máscara. ....	196
Figura 146. Orientar fotos. ....	197
Figura 147. Opciones seleccionadas para orientación de fotos. ....	199
Figura 148. Procesamiento de orientación de fotografías. ....	199
Figura 149. Nube de puntos dispersa. ....	200
Figura 150. Archivo txt con datos de puntos de control fotogramétricos. ....	201
Figura 151. Carga de archivo txt de los PCF al proyecto. ....	201
Figura 152. Configuraciones para cargar PCF en proyecto. ....	202
Figura 153. Creación de marcadores para los PCF. ....	203
Figura 154. Marcadores de los PCF en nube de puntos dispersa.....	203
Figura 155. Filtrar fotos por marcador.....	204
Figura 156. Ajuste de ubicación de marcadores de los PCF.....	205
Figura 157. Optimizar orientación de cámaras.....	206
Figura 158. Error de puntos de apoyo.....	206
Figura 159. Creación de nube de puntos densa. ....	208
Figura 160. Nube de puntos densa.....	209
Figura 161. Clasificación automática de nube de puntos. ....	210
Figura 162. Nube de puntos densa clasificada automáticamente. ....	211
Figura 163. Clasificar puntos del terreno. ....	212

Figura 164. Objeto más grande en el terreno.....	213
Figura 165. Clasificación de nube de puntos. ....	214
Figura 166. Clasificación manual de nube de puntos.....	216
Figura 167. Seleccionar puntos por color.....	216
Figura 168. Configuración de puntos por color. ....	217
Figura 169. Tomar un color de la pantalla para clasificar.....	218
Figura 170. Filtrar vista por clase.....	218
Figura 171. Parámetros para creación de malla 3D.....	219
Figura 172. Malla 3D. ....	221
Figura 173. Opciones para mejorar visualmente Malla 3D.....	221
Figura 174. Parámetros para creación de MDE.....	223
Figura 175. Modelo digital de elevaciones.....	223
Figura 176. Parámetros para creación de MDT.....	224
Figura 177. Modelo digital de terreno.....	224
Figura 178. Parámetros para creación de Ortomosaico.....	226
Figura 179. Ortomosaico.....	227
Figura 180. Parámetros para creación de curvas de nivel.....	228
Figura 181. Curvas de nivel a cada 1m.....	229
Figura 182. Cálculo de volumen.....	230
Figura 183. Coordenadas, Perímetro y Área de polígono.....	230
Figura 184. Perfil del polígono.....	231

Figura 185. Volumen del área dibujada. ....	232
Figura 186. Exportar MDE. ....	233
Figura 187. Formatos de exportación. ....	233
Figura 188. Parámetros de exportación. ....	234
Figura 189. Pasos para generar informe de procesamiento. ....	236
Figura 190. Descripción de informe de procesamiento. ....	236
Figura 191. Almacenamiento de informe de procesamiento. ....	237
Figura 192. Portada de informe de procesamiento. ....	238
Figura 193. Carpetas para procesamiento. ....	239
Figura 194. Creación de nuevo proyecto. ....	240
Figura 195. Añadir imágenes de manera manual. ....	241
Figura 196. Añadir directorios para cargar imágenes. ....	241
Figura 197. Selección de imágenes. ....	242
Figura 198. Propiedades de imágenes. ....	243
Figura 199. Seleccionar sistema de coordenadas de salida. ....	244
Figura 200. Cargar sistema de coordenadas conocido. ....	245
Figura 201. Selección de archivo PRJ. ....	245
Figura 202. Selección de sistema de coordenadas verticales. ....	246
Figura 203. Plantilla de opciones de procesamiento. ....	247
Figura 204. Área de trabajo con fotografías cargadas. ....	248
Figura 205. Selección para procesamiento inicial. ....	249

Figura 206. Procesamiento inicial. ....	250
Figura 207. Informe preliminar de calidad. ....	251
Figura 208. Nube de puntos. ....	252
Figura 209. Selección de un punto en común. ....	253
Figura 210. Opción de foco para encontrar punto en común. ....	254
Figura 211. Marcado automático de punto de paso. ....	255
Figura 212. Propiedades de punto de paso. ....	255
Figura 213. Total de puntos de paso creados. ....	256
Figura 214. Reemparejar y optimizar. ....	257
Figura 215. Reoptimización. ....	258
Figura 216. Gestor GCP/MTP. ....	259
Figura 217. Importar puntos de apoyo. ....	260
Figura 218. Ajuste visual de puntos de paso en lonas. ....	261
Figura 219. Reemparejar y optimizar. ....	261
Figura 220. Generar informe de calidad preliminar. ....	262
Figura 221. Informe de calidad preliminar. ....	262
Figura 222. Opciones de procesamiento para nube de puntos densa. ....	263
Figura 223. Opciones de procesamiento para malla 3D con textura. ....	264
Figura 224. Informe de calidad-nube de puntos densa. ....	265
Figura 225. Nube de puntos densa. ....	266
Figura 226. Opciones para procesamiento de MDS y Ortomosaico. ....	267

Figura 227. Opciones para resultados adicionales.....	268
Figura 228. Informe de calidad final.....	269
Figura 229. Ortomosaico.....	270
Figura 230. Carpetas de resultados.....	270
Figura 231. Configuración de sistema de proyección.....	271
Figura 232. Puntos de control fotogramétricos.....	272
Figura 233. Propiedades para importación de PCF.....	273
Figura 234. Proyección no determinada.....	273
Figura 235. Selección proyección para PCF.....	274
Figura 236. PCF en espacio de trabajo.....	274
Figura 237. Añadir imágenes.....	275
Figura 238. Detalle de imágenes añadidas.....	275
Figura 239. Importación de PCF.....	276
Figura 240. Información del punto de control terrestre.....	277
Figura 241. Información del punto de control terrestre.....	278
Figura 242. Creación de máscaras.....	279
Figura 243. Configuraciones para Nube de Puntos y Ortofoto.....	280
Figura 244. Finalización de procesamiento.....	281
Figura 245. Guardar configuración Pixels to Points Tool.....	282
Figura 246. Productos finales.....	282
Figura 247. Archivos de productos finales.....	283

Figura 248. Exportar Ortofoto en formato TIFF. ....	283
Figura 249. Ortofoto.....	284
Figura 250. Selección de área a clasificar.....	285
Figura 251. Clasificación de área seleccionada. ....	285
Figura 252. Lidar (Clasificación Manual).....	286
Figura 253. Clasificación automática de puntos. ....	286
Figura 254. Parámetros para clasificación automática de puntos de suelo. ....	287
Figura 255. Nube de puntos clasificada con puntos de suelo.....	288
Figura 256. Cambio de clasificación de puntos.....	288
Figura 257. Perfil de nube de puntos clasificada.....	289
Figura 258. Selección de capa de referencia para MDE .....	290
Figura 259. Opciones para creación de MDE. ....	291
Figura 260. Modelo digital de Elevación. ....	291
Figura 261. Filtrar por clasificación de suelo.....	292
Figura 262. Opciones para creación de MDT.....	293
Figura 263. MDT – Global Mapper.....	293
Figura 264. Configuración para creación de curvas de nivel.....	294
Figura 265. Curvas de nivel.....	295
Figura 266. Almacenamiento de espacio de trabajo. ....	295
Figura 267. Modelo digital de terreno obtenido con datos de estación total. ....	298
Figura 268. Modelo digital de terreno obtenido con datos GPS. ....	299

Figura 269. Curvas de nivel.....	299
Figura 270. MDT Agisoft Metashape – Vista 3D Global Mapper .....	300
Figura 271. MDT Pix4D Mapper – Vista 3D Global Mapper .....	301
Figura 272. MDT Global Mapper – Vista 3D Global Mapper .....	302
Figura 273. Superposición de perfil topográfico longitudinal obtenido de datos GPS y de Estación Total.....	303
Figura 274. Superposición de perfil topográfico Transversal obtenido de datos GPS y de Estación Total.....	304
Figura 275. Perfil Longitudinal – Procesamiento Agisoft Metashape.....	305
Figura 276. Perfil Longitudinal – Procesamiento Pix4D Mapper.....	305
Figura 277. Perfil Longitudinal – Procesamiento Global Mapper.....	305
Figura 278. Superposición de perfiles topográficos longitudinales obtenido de levantamiento con dron.....	306
Figura 279. Superposición de perfiles topográficos transversales obtenido de levantamiento con dron.....	306
Figura 280. Perfil Transversal – Procesamiento Agisoft Metashape .....	307
Figura 281. Perfil Transversal – Procesamiento Pix4D Mapper .....	307
Figura 282. Perfil Transversal – Procesamiento Global Mapper .....	307

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Datos de poligonal de amarre obtenidos con estación total.....	118
Tabla 2: Datos de lindero obtenidos con estación total. ....	119
Tabla 3: Datos de puntos de nivel obtenidos con estación total. ....	125
Tabla 4: Datos de Poligonal de amarre técnica RTK.....	144
Tabla 5: Datos de Lindero por medio de técnica RTK.....	145
Tabla 6: Datos de nivel por medio de técnica RTK. ....	151
Tabla 7: Datos comparativos para la poligonal base.....	152
Tabla 8: Datos comparativos para perímetro del terreno. ....	154
Tabla 9: Datos comparativos puntos de nivel en el terreno.....	162

## **INTRODUCCIÓN**

Para iniciar la ejecución de los diferentes tipos de obras civiles como carreteras, canales, edificación, redes de agua potable, alcantarillado, puentes, etc., se hace necesario realizar un levantamiento topográfico, que permita tener una concepción general de la morfología del terreno. Actualmente, los últimos avances tecnológicos, permiten contar con nuevas herramientas que se pueden poner al servicio de la ingeniería y en especial en el campo de la topografía.

Por tal motivo surge interés en realizar la siguiente investigación con la finalidad de encontrar medidas precisas y determinar el grado de confiabilidad en el modelo digital obtenido del levantamiento topográfico realizado con un drone en comparación al levantamiento topográfico tradicional (GPS, Estación Total).

En el documento que se presenta a continuación se presenta las etapas de los avances tecnológicos que la fotografía ha desarrollado en el transcurso de los años y su historia en El Salvador, se plantea la problemática o interrogante a la cual deseamos brindar respuesta con esta investigación, detallamos nuestros objetivos y alcances a cumplir, consta de un marco teórico referente a la topografía y fotogrametría donde se darán a conocer los términos utilizados en el área y las especificaciones de los tipos de drones, una descripción del sitio donde se llevará a cabo el levantamiento topográfico, el detalle del paso a paso para el uso de diferentes softwares disponibles y accesible para la generación de los modelos digitales de terreno que se obtendrán a través de los levantamientos

topográficos, el análisis de los resultados comparando los resultados obtenidos diferentes métodos utilizados para el levantamiento topográfico y los resultados obtenidos con los procesamientos de los diferentes softwares y para finalizar se muestran las conclusiones y recomendaciones.

Se define la metodología para ejecutar esta investigación que se basará en el apoyo bibliográfico disponible y especializado en el tema, buscar asesoría de especialistas en el área y en la utilización de diferentes softwares para el procesamiento de la información para obtener las conclusiones y recomendaciones correspondientes.

## **CAPÍTULO I: GENERALIDADES**

### **1.1 Antecedentes**

Para iniciar con el tema de levantamientos topográficos de terrenos obtenido por medio de drones debemos conocer sobre la fotogrametría y los avances que ha tenido a través de los años. El Ingeniero nacido en Checoslovaquia Gottfried Konecny, nos dice en el año 1981 que la fotogrametría se desarrolla y evoluciona en cuatro etapas:

1. La primera comprendida entre los años 1850 y 1900, llamada “Metrofotografía”. Como antecedente tiene la invención de la fotografía a través de la cámara oscura por Niépce y Daguerre en 1839 en Francia. Es lo que conocemos como fotogrametría terrestre. El término Metrofotografía fue ideado por el coronel francés Laussedat hacia 1851; a quien se lo considera el fundador de la Fotogrametría, este coronel usó esta técnica para elaborar mapas topográficos. Y demás de esto, trabajó para crear un prototipo de lo que hoy en día conocemos como fototeodolito.
2. Luego tenemos la fotogrametría analógica desarrollada desde 1900 a 1960 inicia con dos inventos muy importantes en la historia, por un lado, la estereoscopia dando origen a la estereofotogrametría y por otro lado el invento de plataformas adecuadas para los sensores o cámaras como el aeroplano.

3. Como tercera etapa tenemos la fotogrametría analítica desarrollada entre los años 1969 hasta 1980, surge principalmente por la aparición de las computadoras. Básicamente las mediciones sobre las fotografías se realizan usando restituidores analógicos y técnicas computacionales.
4. Finalmente tenemos la fotogrametría digital, iniciada desde 1980 hasta nuestros días, se inició a partir del lanzamiento del primer satélite artificial, el Sputnik de origen ruso y por el uso del satélite Landsat de origen estadounidense. Se utilizan sistemas fotogramétricos digitales integrados en software o programas de computadoras. Involucra las técnicas más recientes de fotogrametría, como por ejemplo la actual fotogrametría con drones.

Desde sus inicios, la fotogrametría se ha convertido en la herramienta indispensable en la producción de la base cartográfica de todos los países del mundo; de hecho, la mayoría de la cartografía topográfica de nuestro planeta ha sido realizada por medio de esta disciplina. Si bien la fotogrametría tuvo su inicio en el levantamiento de fachadas arquitectónicas y plantas de edificios, mediante el uso de fotografías terrestres, pronto se utilizaron las fotografías aéreas para el levantamiento de la cartografía de base, lo que le dio el tremendo auge que ha mantenido hasta nuestros días.

### **Fotogrametría en El Salvador**

La fotogrametría prácticamente se introduce a El Salvador entre 1950 a 1955, con la adquisición de una serie de instrumentos, los cuales tomaron una gran

importancia por los múltiples usos que tendrían en labor cartográfica y catastral en el territorio nacional.

Por medios fotogramétricos analógicos se produjo la base cartográfica actual de El Salvador. En cuanto catastro numérico se generó un 60 a 70% del país, así también, se generó el catastro gráfico, ortofotos análogas desde los años 1970 a 1974, cubriendo la zona oriental del país. El área de fotogrametría fue siempre la generadora de los datos básicos para el catastro y la fotogrametría.

A partir de 1996 se inició la adquisición de equipos fotogramétricos digitales y se adquirió una cámara semi - analítica Leica RC30. Con esta adquisición los equipos fotogramétricos han cambiado a sistemas digitales, con este cambio de tecnología, se orienta el recurso para realizar el control de calidad de productos fotogramétricos dentro del proyecto de Modernización del Registro y del Catastro Nacional.

Desde 1999 el área de fotogrametría pasa hacer parte del Instituto Geográfico Nacional (IGN) Pablo Arnoldo Guzmán, las actividades fueron enfocadas en la producción y mantenimientos de los datos cartográficos básicos para la ejecución de proyectos de interés de nación.

Con la toma de imágenes a partir de la Cámara Leica RC30, en ese momento, algunos de los procesos de laboratorio aún eran desarrollados con los equipos análogos.

En diciembre del año 2015 se adquirió una cámara de gran formato, la Ultracam Eagle 80 mm, cámara de última generación, con un sistema de navegación

UltraNav (GPS-IMU), que juntos logran producir un producto dentro de los más altos estándares en cuanto a resolución y posición.

Con este equipo se pretende ejecutar vuelos fotogramétricos para la generación de insumos para producir cartografía actualizada de territorio nacional.

En lo que al país se refiere, el empleo de la fotogrametría y la consecuente abolición de los métodos inexactos que se venían empleando, se inició en el año 1936, cuando el Gobierno de El Salvador de común acuerdo con el Gobierno Guatemalteco, decidieron fijar la frontera comprendida entre las dos repúblicas hermanas. Para tal propósito se solicitó la colaboración del Gobierno de los Estados Unidos en el sentido de que realizara el levantamiento fotogramétrico de la zona fronteriza. Aceptada la mencionada solicitud y constituida la correspondiente "Comisión Mixta de Límites".

## 1.2 Planteamiento del problema

En los trabajos de ingeniería donde se planifica establecer algún tipo de obra ya sea edificación, puentes, obras viales, entre otros, se requiere el modelamiento del terreno; para lo cual se requiere la presencia de un profesional del área, labor técnicamente realizada por el Ingeniero Civil, tanto así o por un técnico bajo supervisión de éste. Por otro lado hoy en día la tecnología viene evolucionando a pasos agigantados, teniendo estos profesionales que actualizarse constantemente, para no perder el paso a la tecnología, existiendo una gama de metodologías para la captación de información de campo que evoluciona día a día, optimizando más que dinero en tiempo, a la mano se tiene en un gran porcentaje el uso de la estación total que es un aparato electro-óptico utilizado en topografía, cuyo funcionamiento se apoya en la tecnología electrónica. Así mismo la fotogrametría ha jugado un papel importante en esta fase de campo, sin embargo, ha sido un tanto no accesible por el costo de su servicio, así como el post procesamiento, para la obtención de ortofotos.

Sin embargo, hoy en día con el uso de un *drone* (cuadricóptero, UAV o Ala Fija), y a éste adaptado una cámara de video y/o fotográfica, así mismo ya con la presencia de un dispositivo GPS, es posible la obtención de información gráfica a menor costo y en menor tiempo. Dada la aplicación del *drone* para diferentes actividades, en el presente proyecto de investigación, se tiene previsto la obtención de datos, proceso de información y obtención del modelo digital de terreno con el uso de drones para una zona en cuya construcción habrá

movimientos considerables de tierras en el tema de explanaciones, es por ello por lo que nace la idea de ejecutar la comparación de datos tomados entre ambos métodos.

De las necesidades presentadas en el presente proyecto surgen las siguientes interrogantes principales y específicas.

- ¿Con el uso de los drones y los softwares de procesamiento, se obtendrá similares resultados que los obtenidos con la estación total o GPS o combinación de estos? ¿Los datos obtenidos de forma indirecta, tomados desde un *drone* aplicando la fotogrametría, tienen la misma precisión respecto a un método tradicional directo?
- ¿La diferencia de costos de ambos métodos de ejecución, alcanza alguna variación significativa?
- ¿El tiempo empleado para el método indirecto, será menor al del método directo?

Con método bilateral, indicando como resultado cuál de los tiempos será menor, Considerando cada una de las muestras que se tomaran en campo. Frente a estas interrogantes será necesario, realizar las pruebas de campo y gabinete para resolver las interrogantes planteadas, y en lo posterior tener una hipótesis demostrada y absuelta de las interrogantes.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo general**

Generar modelos digitales de terreno obtenidos a través de levantamientos topográfico con vehículo aéreo no tripulado *drone*.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Realizar el levantamiento topográfico de un terreno por medio vuelos con drones.
- Generar imágenes de alta resolución, georreferenciadas al Sistema de Coordenadas SIRGAS-ES2007 con el uso de técnicas fotogramétricas a partir de fotografías tomadas con drones.
- Crear Modelos Digitales de Terreno (MDT) y obtener información topográfica del terreno, a través de diferentes softwares.
- Analizar la información obtenida, a través del levantamiento topográfico con drones con la obtenida por métodos convencionales como lo son la Estación total y GPS bajo el mismo Sistema de Referencia Geodésico SIRGAS-ES2007.

## 1.4 Alcances

- Se realizará una investigación teórica de la fotogrametría en general y la evolución de la fotogrametría en El Salvador y su transición de la Analítica a la Digital.
- Se conocerá información sobre el funcionamiento, tipos y aplicaciones de los drones, adicional el saber seleccionar que tipo de drones se debe utilizar en función al tipo y la extensión del terreno.
- Se elaborará una metodología para la realización de levantamientos topográficos con drones teniendo en cuenta factores claves, problemas más comunes, los puntos de control terrestre y las especificaciones técnicas para el procesamiento de la data.
- Se detallará el procesamiento de datos obtenidos de levantamientos topográficos con drones a través de diferentes softwares, así como la importación de resultados a GIS.
- Se comparará la información obtenida, a través del levantamiento topográfico con drones con la obtenida por métodos convencionales como son la Estación total y GPS bajo el mismo Sistema de Referencia Geodésico SIRGAS-ES2007.

## 1.5 Limitaciones

- Debido a la actual pandemia COVID-19 es posible que las medidas de restricción de movimiento a algunas zonas permanezcan durante el desarrollo del presente trabajo pueda afectar en la realización de las visitas de campo para realizar las mediciones y toma de datos.
- Las especificaciones técnicas del ordenador para el procesamiento de la data en algunos softwares generaran la necesidad de adquirir mejor equipo informático.
- Adquirir el préstamo del equipo necesario a utilizar (*drone*, estación total, GPS. etc.) en la universidad de El Salvador puede dificultarse debido a la situación generada por la pandemia de COVID-19.
- Será necesario invertir económicamente en la adquisición de información dado que la información de acceso libre puede no contar con las especificaciones requeridas para el desarrollo de esta investigación.

## 1.6 Justificación

En la actualidad, el uso de los vehículos aéreos no tripulados, conocidos como DRONES, han generalizado el uso de la fotogrametría aérea en muchos más campos de los que anteriormente estaba disponible, siendo uno de ellos los Levantamientos Topográficos. En realidad, las técnicas que ahora utilizamos se basan en las tradicionales, pero los requerimientos, el equipamiento necesario y la complejidad de las operaciones se ha reducido sustancialmente.

Con ello, los costos han caído de forma radical, hasta el punto de que servicios que antes se afrontaban como complejos proyectos de ingeniería, pueden ser completados con equipos de bajo costo y en tiempos relativamente cortos.

Por tanto La implementación de esta tecnología en levantamientos topográficos en los procesos de ingeniería según los tipo de captura de información como son de tipo terrestre, aérea y estacionaria se ha hecho de manera paulatina en las diferentes etapas de desarrollo de los proyectos a nivel nacional, iniciando por la etapa de pre factibilidad o consultoría aplicando este método en la captura para proyectos viales, túneles, arquitectónicos, forestales, arqueológicos, entre otros, aplicando esta tecnología entidades de gobierno como el Ministerio de Obras Públicas y empresas privadas para los estudios de pre factibilidad y posterior diseño y construcción de infraestructuras reduciendo por tanto tiempos y costos en la ejecución de un proyecto; sin embargo también se aplica estos procedimientos en zonas en las cuales resulta difícil el acceso ya sea por la topografía del terreno o por la seguridad del personal técnico y equipo.

Por tanto, es necesario proveer proyectos de investigación como propuesto para su análisis y posteriormente esta información sirva como base para la formación académica de los estudiantes de la Universidad, avanzando con el conocimiento necesario para manejar este tipo de tecnologías.

## **CAPÍTULO II: FUNDAMENTOS TEÓRICOS**

### **2.1 Topografía**

La topografía (del griego: *topos*, lugar y *graphein*, describir) es una ciencia que estudia el conjunto de procedimientos para determinar las posiciones relativas de los puntos sobre la superficie de la tierra y debajo de la misma, mediante la combinación de las medidas según los tres elementos del espacio: distancia, elevación y dirección. La topografía explica los procedimientos y operaciones del trabajo de campo, los métodos de cálculo o procesamiento de datos y la representación del terreno en un plano o dibujo topográfico a escala. El conjunto de operaciones necesarias para determinar las posiciones de puntos en la superficie de la tierra, tanto en planta como en altura, los cálculos correspondientes y la representación en un plano (trabajo de campo + trabajo de oficina) es lo que comúnmente se llama "Levantamiento Topográfico". La topografía como ciencia que se encarga de las mediciones de la superficie de la tierra, se divide en tres ramas principales que son la geodesia, la topografía plana y la fotogrametría.

#### **2.1.1 Geodesia**

La geodesia trata de las mediciones de grandes extensiones de terreno, como por ejemplo para confeccionar la carta geográfica de un país, para establecer fronteras y límites internos, para la determinación de líneas de navegación en

ríos y lagos, etc. Estos levantamientos tienen en cuenta la verdadera forma de la tierra y se requiere de gran precisión. Cuando la zona de que se trate no sea demasiado extensa, se puede obtener la precisión requerida considerando la tierra como una esfera perfecta, pero si dicha superficie es muy grande debe adoptarse la verdadera forma elipsoidal de la superficie terrestre. Los levantamientos de grandes ciudades se hacen bajo el supuesto de que la tierra es perfectamente esférica. Este tipo de levantamiento está catalogado como de alta precisión e incluye el establecimiento de los puntos de control primario o puntos geodésicos, que son puntos debidamente materializados sobre la superficie de la tierra, es decir, con posiciones y elevaciones conocidas, las cuales son de gran importancia y trascendencia por constituir puntos o redes de apoyo y referencia confiables para todos los demás levantamientos de menor precisión. Los puntos fijados geodésicamente (levantamiento de control), como por ejemplo los vértices de triangulación, constituyen una red a la que puede referirse cualquier otro levantamiento sin temor a error alguno en distancias horizontal o vertical o en dirección, derivado de la diferencia entre la superficie de referencia y la verdadera superficie de la tierra.

### **2.1.2 Topografía plana**

El levantamiento topográfico plano tiene la misma finalidad de los levantamientos geodésicos, pero difiere en cuanto a la magnitud y precisión y por consiguiente

en los métodos empleados. Esta área se encarga de la medición de terrenos y lotes o parcelas de áreas pequeñas, proyectados sobre un plano horizontal, despreciando los efectos de la curvatura terrestre. La mayor parte de los levantamientos en proyectos de ingeniería son de esta clase, ya que los errores cometidos al no tener en cuenta la curvatura terrestre son despreciables y el grado de precisión obtenido queda dentro de los márgenes permisibles desde el punto de vista práctico. Las justificaciones para no tener en cuenta la curvatura terrestre se pueden fundamentar en los siguientes datos, los cuales se pueden demostrar mediante la aplicación de principios de geometría y trigonometría esférica: La longitud de un arco de 18 Km sobre la superficie de la tierra es solamente 15 mm mayor que la cuerda subtendida por el mismo y la diferencia entre la suma de los ángulos de un triángulo plano triángulo de 200 Km<sup>2</sup> (20.000 hectáreas) y la de los ángulos de un triángulo esférico correspondiente, es de un solo segundo de arco. De lo anterior se deduce que únicamente debe tenerse en cuenta la verdadera forma de la tierra cuando el levantamiento se refiera a grandes superficies y su ejecución exija de alta precisión. Cuando se trate de determinar alturas, aún en los casos que no se requiera gran precisión, no puede despreciarse la curvatura terrestre. Supóngase un plano tangente a la superficie del nivel medio del mar en un punto dado; la distancia vertical entre dicho plano y el nivel medio del mar, a una distancia de 16 km medida a partir del punto de tangencia es de 20 metros y a una distancia de 160 km, la distancia es de dos kilómetros. Sin embargo, los trabajos de nivelación no requieren ningún trabajo

adicional para referir las alturas medidas a dicha superficie esferoidal, debido a que la nivelación de los puntos consecutivos normalmente se hace a distancias cortas y cada línea visual va quedando paralela a la superficie media de la tierra. Debido a los grandes avances tecnológicos y científicos de las tres ramas de la topografía, cada una de ellas se ha conformado en áreas de conocimiento bien diferenciadas, aunque interrelacionadas y complementarias. Hoy día existe las profesiones de ingeniero topográfico, ingeniero geodesta e ingeniero fotogrametrista.

### **2.1.3 Fotogrametría**

La fotogrametría es la disciplina que utiliza las fotografías para la obtención de mapas de terrenos. Los levantamientos fotogramétricos comprenden la obtención de datos y mediciones precisas a partir de fotografías del terreno tomadas con cámaras especiales u otros instrumentos sensores, ya sea desde aviones (fotogrametría aérea) o desde puntos elevados del terreno (fotogrametría terrestre) y que tiene aplicación en trabajos topográficos. Se utilizan los principios de la perspectiva para la proyección sobre planos a escala, de los detalles que figuran en las fotografías. Los trabajos fotogramétricos deben apoyarse sobre puntos visibles y localizados por métodos de triangulación topográfica o geodésicos que sirven de control tanto planimétrico como altimétrico. Como una derivación de la fotogrametría, está la fotointerpretación que se emplea para el análisis cualitativo de los terrenos. La fotogrametría aérea se basa en fotografías

tomadas desde aviones equipados para el trabajo, en combinación de las técnicas de aerotriangulación analítica para establecer posiciones de control para la obtención de proyecciones reales del terreno y para hacer comprobaciones con una menor precisión que la obtenida en las redes primarias de control geodésico. Tiene las ventajas de la rapidez con que se hace el trabajo, la profusión de los detalles y su empleo en lugares de difícil o imposible acceso desde el propio terreno. Esta disciplina se emplea tanto para fines militares, como para los levantamientos topográficos generales, anteproyecto de carreteras, canales y usos agrícolas catastrales, estudios de tránsito, puertos, urbanismo, etc. La fotogrametría terrestre hace los levantamientos basados en fotografías tomadas desde estaciones situadas sobre el terreno, constituye un excelente medio auxiliar para los levantamientos topográficos clásicos, especialmente en el trazado de planos a pequeña escala de zonas montañosas y para el levantamiento de accidentes de tránsito. El trabajo consiste en esencia en tomar fotografía desde dos o más estaciones adecuadas y utilizarlas después para obtener los detalles del terreno fotografiado, tanto en planta como en alzado o perfil.

Las operaciones corrientes en un levantamiento fotogramétrico en general son las siguientes:

- Estudios sobre planos disponibles de la región para planificar el trabajo, determinar las líneas de vuelo, en función de la distancia focal de la cámara, la escala de la fotografía, la superposición o traslapes de las

fotografías, tanto longitudinal como transversal, el tamaño de los negativos, la altura de vuelo, etc.

- Reconocimiento del terreno a fotografiar.
- Fijación de los puntos de control terrestre básico, tanto planimétricos como altimétricos para lograr la correcta orientación y localización de los puntos sobre la fotografía.
- Toma, desarrollo, clasificación, y numeración de las fotografías.
- Ensamble de mosaicos o disposición secuencial de las fotografías en conjunto de tal manera que representen el área deseada.
- Elaboración de planos obtenidos por el sistema de restitución fotogramétrica y sus aplicaciones para proyectos de ingeniería.

Actualmente se han desarrollado otros tipos de fotogrametría como la espacial o satelital, inercial y los sensores remotos, las cuales tienen aplicaciones específicas en la estrategia militar y control de itinerarios de transporte a largas distancias. Los levantamientos por satélite incluyen la determinación de la posición de sitios en el terreno utilizando imágenes de satélite para la medición y mapeo de grandes superficies sobre la tierra.

## **2.2 Fundamentos de la topografía plana**

La mayor parte de los levantamientos de la topografía tienen por finalidad el cálculo de la superficie o áreas, volúmenes, distancias, direcciones y la representación de las medidas tomadas en el campo mediante los planos

topográficos correspondientes. Estos planos se utilizan como base para la mayoría de los trabajos y proyectos de ingeniería relacionados con la planeación y construcción de obras civiles. Por ejemplo se requieren levantamientos topográficos, antes, durante y después de la planeación y construcción de carreteras, vías férreas, sistemas de transporte masivo, edificios, puentes, túneles, canales, obras de irrigación, presas, sistemas de drenaje, fraccionamiento o división de terrenos urbanos y rurales (particiones), sistemas de aprovisionamiento de agua potable (acueductos), eliminación de aguas negras (alcantarillados), oleoductos, gasoductos, líneas de transmisión, control de la aerofotografía, determinación de límites de terrenos de propiedad privada y pública (linderos y medianías) y muchas otras actividades relacionadas con geología, arquitectura del paisaje, arqueología, etc.

Para el estudio de la topografía plana se divide en dos grandes áreas que son la Altimetría y la Planimetría.

### **2.2.1 Altimetría o control vertical**

La altimetría se encarga de la medición de las diferencias de nivel o de elevación entre los diferentes puntos del terreno, las cuales representan las distancias verticales medidas a partir de un plano horizontal de referencia. La determinación de las alturas o distancias verticales también se puede hacer a partir de las mediciones de las pendientes o grado de inclinación del terreno y de la distancia inclinada entre cada dos puntos. Como resultado se obtiene el esquema vertical.

La metodología e instrumentación en Altimetría se clasifica en:

- Nivelación geométrica

Se caracteriza porque las visuales de los instrumentos son siempre horizontales.

Los instrumentos se denominan niveles.

Los tipos de niveles que usualmente se encuentran son:



Figura 1. Tipos de niveles (Fuente: Creación propia)

Con estos instrumentos se hacen lecturas sobre unas reglas graduadas denominadas miras o estadías. Dichas miras pueden tener una graduación métrica o un código de barras.

El desnivel existente entre dos puntos se obtiene mediante una resta de lecturas entre la mira situada en el punto denominado referencia u origen, y la mira o miras situadas sobre los distintos puntos a determinar.

- Nivelación trigonométrica

En la nivelación trigonométrica las visuales pueden tener cualquier inclinación. Podrán utilizarse todos aquellos aparatos capaces de medir los ángulos de inclinación de dichas visuales, tales como teodolitos, taquímetros, estaciones totales.

Para emplear este método es necesario conocer la distancia entre los dos puntos de los que se pretende obtener el desnivel y la aplicación de fórmulas trigonométricas, ver figura 2.

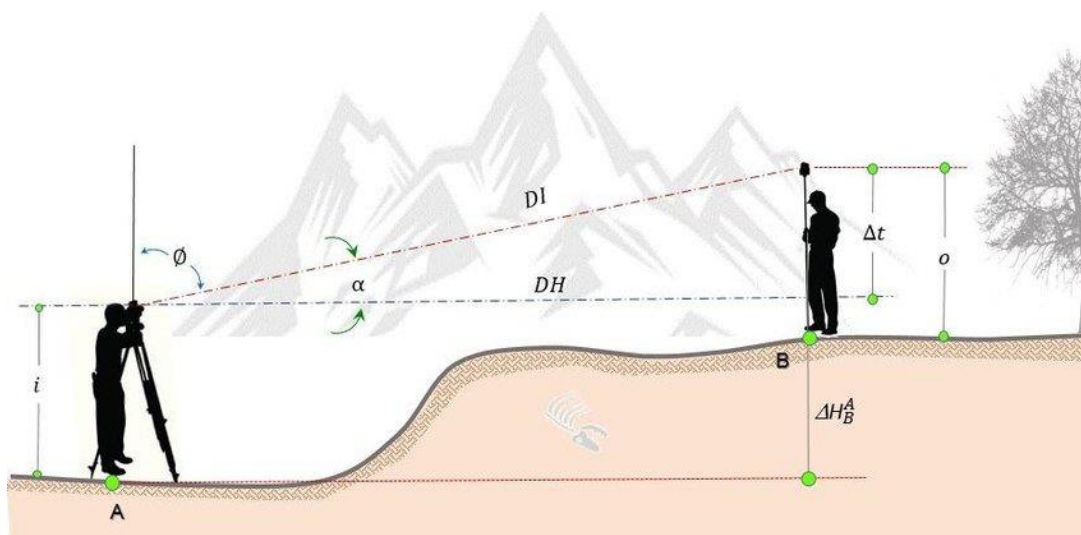


Figura 2. Nivelación trigonométrica

(Fuente: <https://www.researchgate.net/>)

- Nivelación GPS

El GPS es un instrumento que permite obtener las coordenadas planimétricas y altimétricas de los distintos puntos utilizando las señales procedentes de satélites artificiales. La antena GPS recibe la señal de varios satélites simultáneamente, a

partir de ellos calcula la posición de la antena o de ésta respecto a otra en el sistema de referencia WGS84.

A partir de la diferencia de altura elipsoidal entre dos puntos observados con el GPS se puede obtener el desnivel elipsoidal, siendo necesaria la realización de transformaciones o conocer un modelo de geode preciso para obtener el desnivel ortométrico.

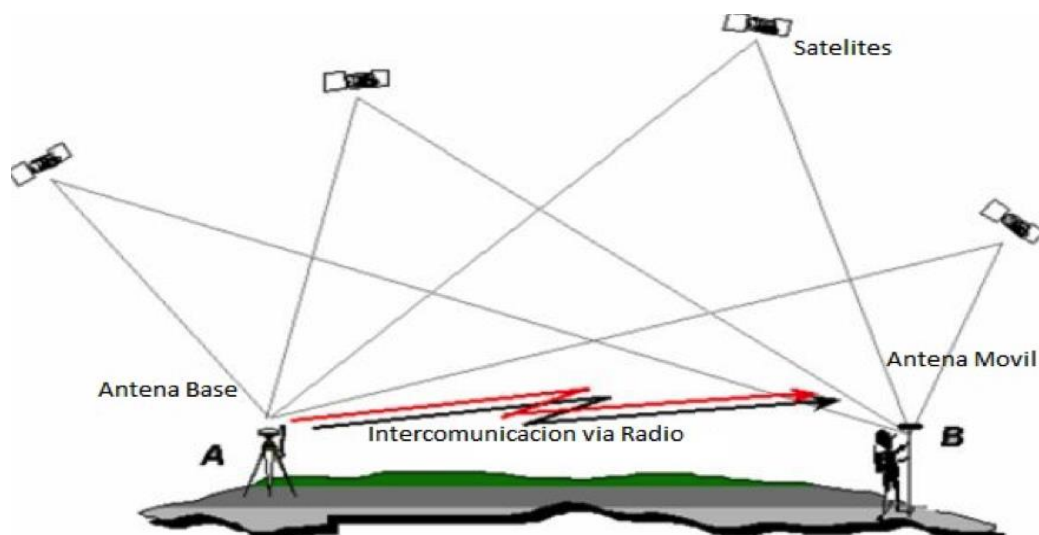


Figura 3. Esquema de un Levantamiento Topográfico usando RTK

(Fuente: <https://blog.tecnoceano.com/>)

- Nivelación gravimétrica

Determina la diferencia de altitud de un punto respecto a otro a partir de los valores de la gravedad observados para ese punto.

La componente vertical de la gravedad disminuye de manera constante a medida que aumenta la altitud del punto a medir. Es necesario tener en cuenta además su longitud y su latitud, ya que la tierra no es una esfera perfecta y todos los puntos de su superficie no se ven atraídos con la misma fuerza. El instrumento empleado se llama gravímetro, ver figura 4.



Figura 4. Gravímetro

(Fuente: <http://www.ceqa-uchile.cl/>)

### 2.2.2 Planimetría o control horizontal

La planimetría sólo tiene en cuenta la proyección del terreno sobre un plano horizontal imaginario (vista en planta) que se supone que es la superficie media de la tierra; esta proyección se denomina base productiva y es la que se considera cuando se miden distancias horizontales y se calcula el área de un terreno. Aquí no interesan las diferencias relativas de las elevaciones entre los diferentes puntos del terreno. La ubicación de los diferentes puntos sobre la superficie de la tierra se hace mediante la medición de ángulos y distancias a partir de puntos y líneas de referencia proyectadas sobre un plano horizontal. El conjunto de líneas que unen los puntos observados se denomina Poligonal Base

y es la que conforma la red fundamental o esqueleto del levantamiento, a partir de la cual se referencia la posición de todos los detalles o accidentes naturales y/o artificiales de interés. La poligonal base puede ser abierta o cerrada según los requerimientos del levantamiento topográfico. Como resultado de los trabajos de planimetría se obtiene un esquema horizontal.

En topografía los instrumentos que se utilizan para la obtención de la planimetría permiten en su gran mayoría la obtención de la altimetría. La obtención y manejo de dicha componente con un instrumento u otro vendrá dada por el objetivo perseguido, siendo el nivel geométrico el más utilizado.

### **2.2.3 Planimetría y altimetría simultáneas**

La combinación de las dos áreas de la topografía plana permite la elaboración o confección de un "plano topográfico" propiamente dicho, donde se muestra tanto la posición en planta como la elevación de cada uno de los diferentes puntos del terreno. La elevación o altitud de los diferentes puntos del terreno se representa mediante las curvas de nivel, que son líneas trazadas a mano alzada en el plano de planta con base en el esquema horizontal y que unen puntos que tienen igual altura. Las curvas de nivel sirven para reproducir en el dibujo la configuración topográfica o relieve del terreno.

La mayoría de los instrumentos utilizados en topografía para la obtención de la planimetría y/o altimetría se pueden clasificar en:

- Instrumentos de medida angular

En la actualidad los instrumentos utilizados son los Teodolitos y todos aquellos derivados de éste: Taquímetros y Estaciones Totales, ver figura 5.



*Figura 5. Teodolito y Estación Total*

(Fuente: <http://itrazo.com/>)

Teodolitos: Ofrecen datos angulares a través de lecturas sobre limbos graduados, si éstos están codificados las lecturas se obtienen de forma digital. Si además el retículo dispone de hilos estadimétricos, se denomina taquímetro.

Estación Total: Se diferencia de los anteriores por permitir con el mismo instrumento la MED (Medida Electromagnética de Distancias) y poder, mediante software, la gestión combinada de las medidas angulares y de distancias.

Instrumentos GNSS: Conocidos de forma genérica por las siglas GPS, son instrumentos utilizados desde no hace mucho tiempo en topografía, aunque

puede considerarse un método nuevo debido a los continuos cambios que se producen en el modo de trabajo a medida que aparecen las nuevas tecnologías, ya se han convertido en un instrumento básico para la topografía, ver figura 6.



Figura 6. GNSS

(Fuente: <https://leica-geosystems.com/>)

#### **2.2.4 Clases de levantamientos de topografía plana**

De acuerdo con la finalidad de los trabajos topográficos existen varios tipos de levantamientos que, aunque aplican los mismos principios, cada uno de ellos tiene procedimientos específicos para facilitar el cumplimiento de las exigencias y requerimientos propios. Entre los levantamientos más corrientemente utilizados están los siguientes:

##### **2.2.4.1 Levantamientos de tipo general (lotes y parcelas)**

Estos levantamientos tienen por objeto marcar o localizar linderos, medianías o límites de propiedades, medir y dividir superficies, ubicar terrenos en planos

generales ligando con levantamientos anteriores o proyectar obras y construcciones.

Las principales operaciones son:

- Definición de itinerario y medición de poligonales por los linderos existentes para hallar su longitud y orientación o dirección.
- Replanteo de linderos desaparecidos partiendo de datos anteriores sobre longitud y orientación valiéndose de toda la información posible y disponible.
- División de fincas en parcelas de forma y características determinadas, operación que se conoce con el nombre de particiones.
- Amojonamiento de linderos para garantizar su posición y permanencia.
- Referencia de mojones, ligados posicionalmente a señales permanentes en el terreno.
- Cálculo de áreas, distancias y direcciones, que es en esencia los resultados de los trabajos de agrimensura.
- Representación gráfica del levantamiento mediante la confección o dibujo de planos.
- Soporte de las actas de los deslindes practicados.

#### **2.2.4.2 Levantamiento longitudinal o de vías de comunicación**

Son los levantamientos que sirven para estudiar y construir vías de transporte o comunicaciones como carreteras, vías férreas, canales, líneas de transmisión, acueductos, etc.

Las operaciones son las siguientes:

- Levantamiento topográfico de la franja donde va a quedar emplazada la obra tanto en planta como en elevación (planimetría y altimetría simultáneas).
- Diseño en planta del eje de la vía según las especificaciones de diseño geométrico dadas para el tipo de obra.
- Localización del eje de la obra diseñado mediante la colocación de estacas a cortos intervalos de unas a otras, generalmente a distancias fijas de 5, 10 o 20 metros.
- Nivelación del eje estacado o abscisado, mediante itinerarios de nivelación para determinar el perfil del terreno a lo largo del eje diseñado y localizado.
- Dibujo del perfil y anotación de las pendientes longitudinales
- Determinación de secciones o perfiles transversales de la obra y la ubicación de los puntos de chaflanes respectivos.
- Cálculo de volúmenes (cubicación) y programación de las labores de explanación o de movimientos de tierras (diagramas de masas), para la optimización de cortes y rellenos hasta alcanzar la línea de subrasante de la vía.
- Trazado y localización de las obras respecto al eje, tales como puentes, desagües, alcantarillas, drenajes, filtros, muros de contención, etc.
- Localización y señalamiento de los derechos de vía ó zonas legales de paso a lo largo del eje de la obra.

### **2.2.4.3 Levantamientos de minas**

Estos levantamientos tienen por objeto fijar y controlar la posición de los trabajos subterráneos requeridos para la explotación de minas de materiales minerales y relacionarlos con las obras superficiales.

Las operaciones corresponden a las siguientes:

- Determinación en la superficie del terreno de los límites legales de la concesión y amojonamiento de los mismos.
- Levantamiento topográfico completo del terreno ocupado por la concesión y confeccionamiento del plano o dibujo topográfico correspondiente.
- Localización en la superficie de los pozos, excavaciones, perforaciones para las exploraciones, las vías férreas, las plantas de trituración de agregados y minerales y demás detalles característicos de estas explotaciones.
- Levantamiento subterráneo necesarios para la localización de todas las galerías o túneles de la misma.
- Dibujo de los planos de las partes componentes de la explotación, donde figuren las galerías, tanto en sección longitudinal como transversal.
- Dibujo del plano geológico, donde se indiquen las formaciones rocosas y accidentes geológicos.
- Cubicación de tierras y minerales extraídos de la excavación en la mina

#### **2.2.4.4 Levantamientos hidrográficos**

Estos levantamientos se refieren a los trabajos necesarios para la obtención de los planos de masas de aguas, líneas de litorales o costeras, relieve del fondo de lagos y ríos, ya sea para fines de navegación, para embalses, toma y conducción de aguas, cuantificación de recursos hídricos, etc.

Las operaciones generales son las siguientes:

- Levantamiento topográfico de las orillas que limitan las masas o corrientes de agua.
- Batimetría mediante sondas ecográficas para determinar la profundidad del agua y la naturaleza del fondo.
- Localización en planta de los puntos de sondeos batimétricos mediante observaciones de ángulos y distancias.
- Dibujo del plano correspondiente, en el que figuren las orillas, las presas, las profundidades y todos los detalles que se estimen necesarios.
- Observación de las mareas o de los cambios del nivel de las aguas en lagos y ríos.
- Medición de la intensidad de las corrientes o aforos de caudales o gastos (volumen de agua que pasa por un punto determinado de la corriente por unidad de tiempo).

#### **2.2.4.5 Levantamientos catastrales y urbanos**

Son los levantamientos que se hacen en ciudades, zonas urbanas y municipios para fijar linderos o estudiar las zonas urbanas con el objeto de tener el plano que servirá de base para la planeación, estudios y diseños de ensanches, ampliaciones, reformas y proyecto de vías urbanas y de los servicios públicos, (redes de acueducto, alcantarillado, teléfonos, electricidad, etc.). Un plano de población es un levantamiento donde se hacen las mediciones de las manzanas, redes viales, identificando claramente las áreas públicas (vías, parques, zonas de reserva, etc.) de las áreas privadas (edificaciones y solares), tomando la mayor cantidad de detalles tanto de la configuración horizontal como vertical del terreno. Estos planos son de gran utilidad especialmente para proyectos y mejoras y reformas en las grandes ciudades. Este trabajo debe ser hecho con extrema precisión y se basa en puntos de posición conocida, fijados previamente con procedimientos geodésicos y que se toman como señales permanentes de referencia. Igualmente se debe complementar la red de puntos de referencia, materializando nuevos puntos de posición conocida, tanto en planta en función de sus coordenadas, como en elevación, altitud o cota.

Los levantamientos catastrales comprenden los trabajos necesarios para levantar planos de propiedades y definir los linderos y áreas de las fincas campestres, cultivos, edificaciones, así como toda clase de predios con espacios cubiertos y

libres, con fines principalmente fiscales, especialmente para la determinación de avalúos y para el cobro de impuesto predial.

Las operaciones que integran este trabajo son las siguientes:

- Establecimiento de una red de puntos de apoyo, tanto en planimetría como en altimetría.
- Relleno de esta red con tantos puntos como sea necesario para poder
- confeccionar un plano bien detallado.
- Referenciación de cierto número de puntos especiales, tales como esquinas de calles, con marcas adecuadas referido a un sistema único de coordenadas rectangulares.
- Confección de un plano de la población bien detallado con la localización y dimensiones de cada casa.
- Preparación de un plano o mapa mural.
- Dibujo de uno o varios planos donde se pueda apreciar la red de distribución de los diferentes servicios que van por el subsuelo (tuberías, alcantarillados, cables telefónicos, etc.).

### **2.2.5 Errores de las mediciones topográficas**

Todas las operaciones en topografía están sujetas a las imperfecciones propias de los aparatos, dispositivos o elementos, a la capacidad propia de los operadores de los mismos y a las condiciones atmosféricas; por lo tanto, ninguna

medida en topografía es exacta en el sentido de la palabra. No hay que confundir los errores con las equivocaciones. Mientras que los errores siempre están presentes en toda medición debido a las limitaciones aludidas, las equivocaciones son faltas graves ocasionadas por descuido, distracción, cansancio o falta de conocimientos. El equivocarse es de humanos, pero en topografía se debe minimizar o eliminar, ya que esto implica la repetición de los trabajos de campo, lo cual incrementa el tiempo y los costos, afectando la eficiencia y la economía.

Es necesario conocer los tipos y la magnitud de los errores posibles y la manera como se propagan para buscar reducirlos a un nivel razonable que no tenga incidencias nefastas desde el punto de vista práctico. Los errores deben quedar por debajo de los errores permisibles, aceptables o tolerables para poder garantizar los resultados los cuales deben cumplir un cierto grado de precisión especificado. El error es la discrepancia entre la medición obtenida en campo y el valor real de la magnitud.

Las causas de los errores pueden ser de tres tipos:

- **Instrumentales:** debido a la imperfección en la construcción de los aparatos o elementos de medida, tales como la aproximación de las divisiones de círculos horizontales o verticales, arrastre de graduaciones de un tránsito o teodolito, etc.

- **Personales:** debido a limitaciones de los observadores u operadores, tales como deficiencia visual, mala apreciación de fracciones o interpolación de medidas, etc.
- **Naturales:** debido a las condiciones ambientales imperantes durante las mediciones tales como el fenómeno de refracción atmosférica, el viento, la temperatura, la gravedad, la declinación magnética, etc.

Cuando se hacen cálculos a partir de mediciones hechas en campo, las cuales ya tienen errores, se presenta la propagación de esos errores, que se pueden magnificar y conducir a resultados desagradables o no esperados.

Para el estudio de los errores se dividen en dos tipos: sistemáticos y accidentales.

#### **2.2.5.1 Errores sistemáticos o acumulativos**

Son los que para condiciones de trabajo fijas en el campo son constantes y por lo tanto son acumulativos, tales como la medición de ángulos con teodolitos mal graduados, cuando hay arrastre de graduaciones. En la medición de distancias y desniveles con cinta mal graduadas, cintas inclinadas, errores en la alineación, errores por temperatura tensión en las mediciones con cinta, etc. Los errores sistemáticos se pueden corregir si se conoce la causa y la manera de cuantificarlo mediante la aplicación de leyes físicas.

### **2.2.5.2 Errores accidentales, aleatorios o compensatorios**

Son los que se cometen indiferentemente en un sentido o en otro, están fuera del control del observador, es decir que las mediciones pueden resultar mayores o menores a las reales. Existe igual probabilidad que los errores sea por exceso o por defecto (positivos o negativos). Tales errores se pueden presentar en los siguientes casos: apreciación de fracciones en lecturas angulares en graduaciones de nonios o vernieres, visuales descentradas de la señal por oscilaciones del cordel de la plomada, interpolación en medición de distancias, colocación de marcas en el terreno, etc.

Muchos de estos errores se eliminan porque se compensan, se reducen con un mayor cuidado en las medidas y aumentando el número de repeticiones de la misma medida. Los errores aleatorios quedan aún después de hacer la corrección de los errores sistemáticos.

## **2.3 Fundamentos de la fotogrametría**

### **2.3.1 Definición de fotogrametría**

Antes de dar una definición debemos conocer cuál es el significado o etimología de la palabra "Fotogrametría".

Fotogrametría proviene del vocablo griego:

- Photos: Luz
- Gramma: Dibujo, trazado o representación.
- Metrón: Medir

De acuerdo con esto último el significado completo de la fotogrametría, sería entonces “Medir objetos por medio de la luz”, sin embargo, muchas sociedades fotogramétricas le dan también el significado de “Medir sobre Fotos”.

Desde su invención han existido muchas definiciones para la fotogrametría, pero las definiciones más comunes y conocidas son las dos siguientes:

- Propuesta por la Sociedad Internacional de Fotogrametría y Sensores Remotos (ISPRS) que nos dice que “La fotogrametría es una ciencia que se encarga de interpretar las características métricas y geométricas de un objeto por medio de la fotografía”.
- La Sociedad Americana de Fotogrametría y Teledetección (ASPRS) por su parte ofrece una definición más amplia. Esta sociedad, además de ciencia, define a la fotogrametría como “un arte y/o tecnología que se encarga de la medición e interpretación de los objetos en una imagen y de los patrones de energía electromagnética”.

Según estas dos últimas definiciones podemos resumir el concepto de la fotogrametría como “La ciencia, arte y tecnología cuyo objetivo principal es el conocimiento de las dimensiones y posiciones de los objetos a partir de dos o más fotografías sucesivas”. Estas dimensiones (3D) y posiciones (3D) se obtienen gracias al principio de Estereoscopia.

### 2.3.2 Clasificación de la fotogrametría

La fotogrametría se encarga de estudiar y definir con precisión la forma, dimensiones y posición de un objeto cualquiera, utilizando esencialmente medidas hechas sobre una o varias fotografías de ese objeto.

Existen dos formas en la que podemos hacer fotogrametría:

La primera de ellas se encuentra definida según **el tipo de fotografía o según la distancia con el objeto de que es fotografiado**. Tenemos así:

#### 2.3.2.1 Fotogrametría terrestre

La primera de ellas se encuentra definida según el tipo de fotografía o según la distancia con el objeto de que es fotografiado, básicamente tiene su principal aplicación en la arquitectura y la arqueología y se basa en el principio de la toma de fotografías desde la tierra, como la hacemos habitualmente; donde la posición de la cámara y el objeto es perfectamente conocida. Básicamente sería tomar fotografías a un objeto desde diferentes perspectivas o ángulos de visión. La fotografía es usada en una posición tal que el eje de la cámara fotográfica resulta horizontal y paralelo al terreno o corteza terrestre.

### 2.3.2.2 Fotogrametría aérea

La cual se utilizan fotografías aéreas tomadas desde una cámara ubicada en una plataforma especial ya sea un avión o un dron. También se consideran las imágenes provenientes de diferentes sensores ubicados en los satelitales.

Fotografías obtenidas desde vehículos aéreos; el eje óptico de la cámara fotográfica resulta sensiblemente perpendicular al terreno o corteza terrestre.

Por otra parte, la segunda clasificación de la fotogrametría viene dada según **el tipo de tratamiento o el tipo de instrumental utilizado**. Dentro de esta clasificación se encuentran:

### 2.3.2.3 Fotogrametría analógica

Se basa en la utilización de aparatos de restitución ópticos o mecánicos, donde el operador realizaba la alineación de las imágenes para crear un modelo estereoscópico debidamente nivelado y escalado. Por otro lado, la confección de mapas, con información planialtimétrica, se realizaba con el principio de la marca flotante o graficadoras basadas en este principio. Fue la primera parte de la fotogrametría que se desarrolló.

#### **2.3.2.4 Fotogrametría analítica**

La cual da inicio con la utilización de los restituidores analógicos y la incorporación de las computadoras. Se crea al restituidor analítico agilizando los tiempos y logrando niveles de detalle a diferentes escalas. Se posibilita la integración de la información a programas de tipo CAD. En este caso el modelo espacial se reconstruye exclusivamente mediante programas informáticos que simulan dicha geometría.

#### **2.3.2.5 Fotogrametría digital**

Es la fotogrametría que se utiliza actualmente y emplea el uso de las computadoras y los programas o software aplicados a dar origen a los modelos digitales del terreno 3D, etc. Las imágenes digitales son ingresadas a la computadora y el operador puede identificar con buena precisión los puntos homólogos o bien la computadora realiza estas operaciones por comparación de imágenes; finalmente el resultado es una imagen en formato ráster o vectorial.

Lo interesante de esta salida (digital) es que puede ser utilizada, como información base para la generación de los conocidos Sistemas de Información Geográfica (SIG).

### 2.3.3 Método de la fotogrametría

El método o fundamento de la fotogrametría se basa en la obtención de dos o más fotografías aéreas sucesivas, que toman un punto común del terreno y a partir de la restitución es posible obtener las coordenadas del punto en ambas fotografías a partir de un eje de referencia relativo, se obtiene básicamente las semejanzas geométricas entre las dos imágenes.

El método de la fotogrametría está definido por dos etapas:

1. La etapa de "Fotografiar objetos" que básicamente comienza desde la planificación del vuelo hasta la obtención de las imágenes. Durante esta etapa es muy importante considerar la escala de la fotografía antes de definir los parámetros del vuelo. Al ser la escala la relación entre lo que mide un objeto en la fotografía y lo que realmente mide en el terreno influye directamente en la precisión final que se desea obtener.

La escala por separación de distancias está determinada por la distancia focal (distancia en mm entre el centro óptico de la lente y el sensor de la cámara) y la altura del vuelo en metros.

2. La etapa de "Medir las imágenes" en la cual se orientan las imágenes obtenidas según como fueron capturas y se reconstruye el objeto mediante la restitución.

- La orientación interna: Viene dada por un conjunto de parámetros que nos permiten transformar de los píxeles de la imagen a las dimensiones físicas reales (en milímetros) de la fotografía y viceversa. Dichos parámetros son principalmente deducidos de las características de la cámara, como la distancia focal, el punto principal, las dimensiones físicas de la fotografía, y ciertos valores de distorsión de la lente. Adicionalmente se emplean otros parámetros característicos del vuelo, como son las alturas de vuelo y terreno. Esta información se recupera esta información de los metadatos de la imagen
- La orientación externa: Encargada de determinar la posición y orientación exactas de la cámara en el instante en que se realizó la fotografía. Consiste en las coordenadas tridimensionales X, Y y Z denominadas foto-centro y tres ángulos giros  $\Omega$ ,  $\Phi$  y  $K$  (son los giros que tienen la cámara durante un vuelo).

Dentro de la orientación exterior se encuentran:

- La orientación relativa: Consiste en identificar puntos homólogos (comunes) en cada fotografía para posteriormente reconstruir los haces y generar el modelo. Es el tipo de orientación en el

que se intenta eliminar el paralaje horizontal y vertical del modelo.

- La orientación absoluta: Es el proceso que nos permite obtener Coordenadas Terreno a partir de las Coordenadas Modelo.

### **2.3.4 Proceso fotogramétrico digital**

El proceso fotogramétrico digital lo podemos dividir en las siguientes etapas:

#### **2.3.4.1 Entrada de los datos**

El proceso fotogramétrico aéreo digital comienza con la obtención de los datos. Según el objetivo del trabajo que se desea realizar se procede a planificar cómo será la toma de las imágenes sea cual sea su origen: fotografías aéreas escaneadas en un sistema de gran precisión o bien imágenes de satélite capturadas con sensores (SPOT, Landsat), y por último imágenes digitales capturadas con el uso de plataformas con drones.

Dentro de la misma planificación se debe incluir la toma puntos de apoyo y/o puntos de control ya sea antes o después del vuelo. En esta etapa se debe definir el método de obtención de los puntos de acuerdo con las precisiones que se requiere alcanzar para el trabajo final.

#### **2.3.4.2 Procesamiento**

Luego es necesario realizar el proceso de orientación interna (realizado por el operador) que consiste en el cambio de coordenadas píxel, es decir de filas y columnas, a coordenadas imagen, este proceso se realiza con la información del cámara y los parámetros de vuelo en general. Posteriormente se realiza una orientación externa, trabajando entre fotogramas, se identifican y localizan puntos de apoyo, puntos homólogos y de control, de los que se conocen sus coordenadas (x, y, z) en el terreno.

En función del tamaño del vuelo fotogramétrico y la precisión final que se requiere alcanzar se puede realizar el proceso de aerotriangulación fotogramétrica. Los softwares actuales generan puntos de apoyo comunes (Tie points) entre las imágenes, sin embargo, si se desea densificar o ampliar la cantidad de puntos y mejorar los resultados finales se debe considerar la aerotriangulación.

La última etapa del procesamiento fotogrametría sería la restitución para generar los modelos estereoscópicos de los cuales se extraerán las medidas. Por ejemplo, en el caso de imágenes de satélites se obtiene el modelo digital de elevación mientras que para el caso de imágenes con drones se obtiene la nube de puntos de la cual posteriormente se realiza el modelo.

### 2.3.4.3 Resultados

La generación de los modelos tridimensionales resulta de relacionar geoméricamente las coordenadas de los puntos de apoyo, homólogos y de control, proceso que realiza el software automáticamente. De esta manera es posible obtener los denominados modelos digitales de terreno, de elevaciones, de superficies, etc.

Básicamente los productos que se generan son:

- Modelos digitales de superficie.
- Modelos digitales de terreno.
- Nube de puntos o malla 3D (En el caso de drones).
- Ortofotos: Imagen corregida de desplazamientos debido a la perspectiva del sensor y al relieve, es decir que se restituyen las distorsiones existentes. La calidad de la imagen depende principalmente de la calidad del modelo digital de terreno elaborado.

Dentro de cada software se genera un reporte que nos indica las precisiones y el nivel fiabilidad de los resultados finales, lo cual hace que podemos o no replantearnos hacer algún cambio en el procesamiento de la información (Por ejemplo, descartar algún punto de apoyo y/o control, así como también, en el caso de drones descartar alguna imagen para el mosaico final, entre otros).

### 2.3.5 Ventajas y limitaciones de la fotogrametría

La fotogrametría es una disciplina basada en la reconstrucción 3D de la realidad a partir de imágenes bidimensionales; es por ello que sus ventajas y desventajas están estrechamente ligadas a las formas de registro (generalmente fotografías aéreas), y a los métodos y equipos de restitución.

#### 2.3.5.1 Ventajas de la fotogrametría

- Reducción de costos. Está relacionado con el tamaño del área a restituir. A partir de las 200 ha. de superficie, el método fotogramétrico se torna competitivo frente al método topográfico, aumentando esta competitividad a medida que el área se hace más extensa.
- Reducción del trabajo de campo. El trabajo de campo es un componente oneroso de todo trabajo topográfico, cuyo costo aumenta con la accesibilidad y las condiciones de clima adverso. La reducida cantidad de puntos de control necesarios en la fotogrametría reduce la estadía en el campo.
- Velocidad de compilación. El tiempo requerido para realizar un mapa fotogramétrico es mínimo comparado con el que requiere el levantamiento topográfico y su posterior trabajo de gabinete Registro multitemporal. Es muy útil para verificar mapas fotogramétricos. Las fotos aéreas proveen un registro preciso de las características del terreno en la fecha en que fueron tomadas, lo cual permite realizar comparaciones entre fotos de otras fechas para evaluar cambios en el terreno.

La Fotogrametría se puede aplicar en regiones donde no pueden utilizarse los métodos clásicos, como, por ejemplo: en regiones intransitables, tales como: ciénagas, desiertos, selvas vírgenes, territorios azotados por alguna epidemia u ocupados por fuerzas enemigas, etc.

La aerofotogrametría aporta además una serie de ventajas, tales como, la fotografía en sí, la cual es un documento que permite efectuar cualquier control en un momento dado.

#### **2.3.5.2 Desventajas de la fotogrametría**

- Visión de la superficie del terreno cuando existe densa cobertura vegetal. En este caso es imposible ubicar la marca flotante sobre el terreno, por lo que se debe presumir una altura promedio de la vegetación con respecto al suelo. Sin embargo, como la cubierta vegetal tiende a suavizar los accidentes topográficos del terreno, siempre existirán errores en la ubicación de las curvas de nivel, aunque se pueda verificar la cota en los claros que existan en la vegetación.
- Ubicación de curvas de nivel sobre superficies planas. El determinar la trayectoria de una curva de nivel en un terreno plano tiene un alto grado de dificultad, debido a la imprecisión en la colocación de la marca flotante. En consecuencia, se colocan puntos acotados en la restitución o se

complementa con trabajo de campo. El lugar debe ser inspeccionado para determinar aquellos elementos que no son visibles en forma satisfactoria, o que no cuya naturaleza exacta no puede ser determinada en el estéreo modelo.

- Siempre es necesario realizar un control de campo.
- La aplicación de la fotogrametría requiere una inversión considerable de equipo y de personal especializado, por lo que su costo es elevado.
- Para realizar nuevos levantamientos se requiere la obtención de nuevas fotografías

## **2.4 Generalidades de los drones**

### **2.4.1 Definición de drone**

Un drone es un vehículo aéreo no tripulado, la cual ejerce su función remotamente, sus siglas en español VANT y en inglés UAV (unmanned aerial vehicle). Este es capaz de mantener de manera autónoma un nivel de vuelo controlado, sostenido, y propulsado por un motor de explosión, eléctrico o de reacción. A su diseño se le adapta cámaras, GPS y sensores de todo tipo.

## 2.4.2 Funcionamiento de drones

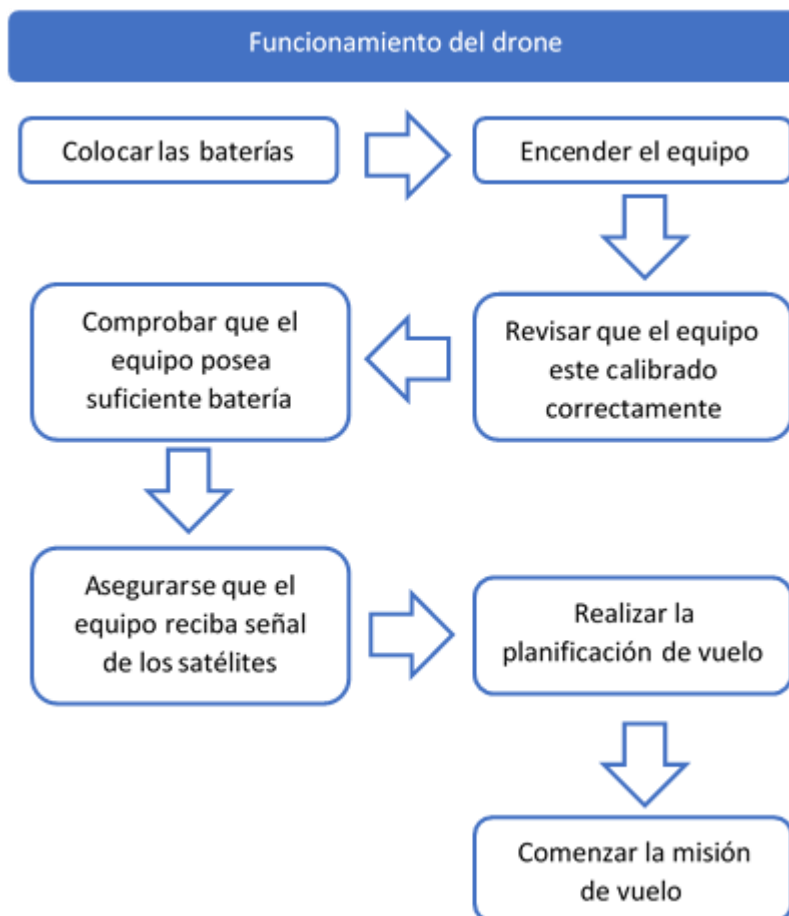


Figura 7. Funcionamiento del drone (Fuente: Creación propia)

Se colocan las baterías, previamente se debió haber dejado cargando, el cual toma un par de horas hacerlo, se procede a encender el equipo, de tal modo que es necesario verificar si el equipo está calibrado, en caso que no lo esté, se debe realizar el proceso de calibración, el cual el aplicativo indicará una serie de giros que se deben realizar con el equipo para que funcione correctamente, además de verificar el estado de las baterías, lo recomendable es que deben estar al 100% cargadas, por precaución ante cualquier inconveniente en el aire.

Es muy importante verificar que el equipo ha recibido el número correcto de satélites, mínimo son 4, generalmente en los drones hay una luz de color verde, que indica que está operativo.

Con respecto a la planificación de vuelo, se recomienda realizarlo en oficina para definir una adecuada distribución de los vuelos y conectarse vía internet al mapa base, como google earth, por ejemplo, de igual modo si se descarga el mapa de la zona con anterioridad puede realizar en campo.

Es muy importante ubicar los obstáculos para que el plan de vuelo realizado este fuera de estos. Al verificar que todo está correcto, se inicia la misión de vuelo, verificando constantemente el aplicativo de la planificación de vuelo que la telemetría esté funcionando, es decir que en tiempo real se pueda verificar, estado de la batería, velocidad de aire, altura, y posición del drone.

Es importante mencionar que las misiones en fotogrametría son planificadas y opera automáticamente siguiendo el plan de vuelo, no es necesario usar el control remoto para maniobrar el equipo, a excepción que haya una emergencia, y se tenga que abortar la misión, o cuando el equipo desciende exista la necesidad de mover el punto aterrizaje, ver figura 7 del esquema resumen del funcionamiento.

### 2.4.2.1 Arquitectura del sistema

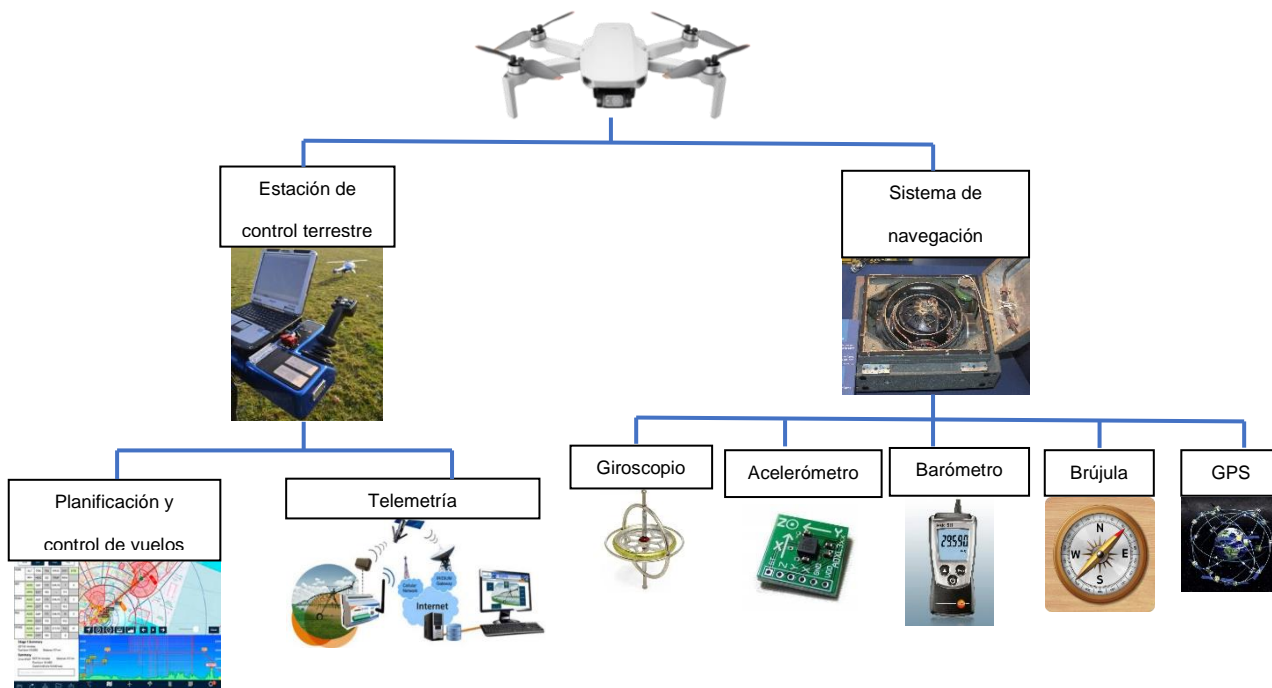


Figura 8. Diagrama arquitectura del sistema (Fuente: Creación propia)

En la arquitectura del sistema se encuentra la estación de control terrestre comprendida por el software la planificación de vuelo y canal de comunicación entre la estación en tierra y el dron corresponde a la telemetría. Mediante una computadora, tableta o teléfono con la aplicación de planificación de vuelo se establece la misión, además con el control remoto es posible operar el dron manualmente.

El sistema de navegación inercial usa un computador y sensores de movimiento y rotación para determinar la posición, velocidad y altitud de la aeronave, con la

mayor precisión posible, a partir de las medidas de la IMU (Inertial Measurement Unit), la cual se compone de sensores inerciales: giróscopos y acelerómetros. Técnicamente hablando posee un receptor GNSS, es decir que recibe señal de constelaciones GPS, GLONASS, GALILEO, es capaz de captar las señales de los satélites permitiendo derivar coordenadas para cada una de las fotografías obtenidas.

Cabe destacar, que la precisión de dicho GNSS corresponde a una precisión similar al GPS de tu teléfono aproximadamente 3-5m. Es importante resaltar que actualmente existe la opción de RTK en Drones, es decir posicionamiento en tiempo real para mejorar la precisión absoluta en los metadatos de la imagen.

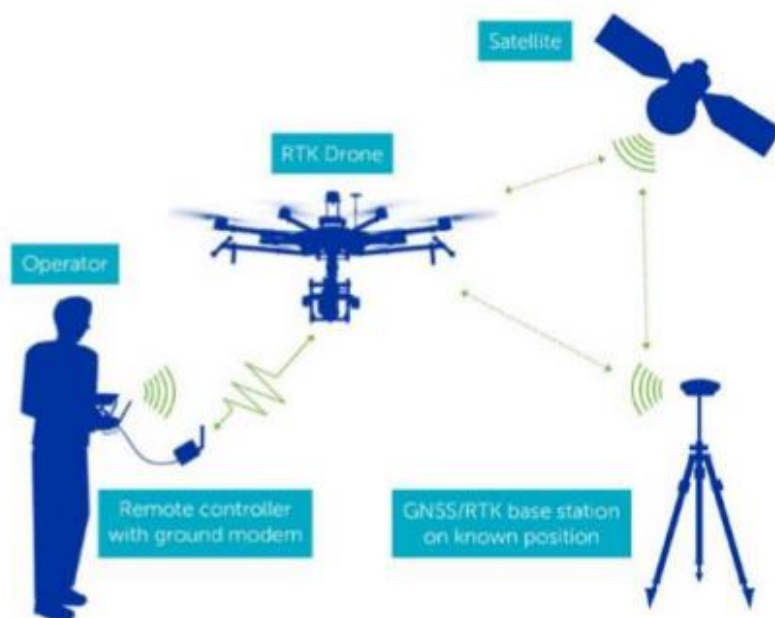


Figura 9. Diagrama levantamiento dron RTK (Fuente: <https://geodegis.thinkific.com/>)

Hay un receptor GNSS que se considera la base que envía correcciones en tiempo real al receptor GNSS que está en el dron, cuando se está realizando el vuelo, de tal modo que las precisiones en posicionamiento mejoran al centímetro.

### 2.4.3 Tipos de drones

**Ala Fija:** Son aeronaves no tripuladas que vuelan gracias a la sustentación generada por la velocidad de vuelo y la forma de sus alas, es más eficiente aerodinámicamente hablando, ya que, con la configuración adecuada, puede permanecer bastante tiempo sin necesidad de utilizar el motor gracias al planeo. Utilizado para topografías no tan accidentadas, ver figura 10.



Figura 10. Dron ala fija (Fuente: <https://geodegis.thinkific.com/>)

**Ala Rotatoria:** Generan la sustentación a través de las fuerzas que se producen en las hélices de sus rotores. Proporciona una gran versatilidad y eficacia en las operaciones por su simpleza a la hora de ser pilotados y por la velocidad de montaje. Según el número rotores que monte el dron existen: tricópteros (3 motores), cuadricópteros (4 motores), hexacópteros (6 motores) y octacópteros (8 motores). Utilizado para topografías accidentadas, ver figura 11.



Figura 11. Dron ala rotatoria (Fuente: <https://geodegis.thinkific.com/>)

VTOL: (Del inglés de Vertical Take-Off and Landing, «despegue y aterrizaje vertical»), es una fusión entre un dron de ala rotatoria y un dron de ala fija. Su innovador sistema de despegue vertical, le permite despegar y aterrizar en cualquier tipo de terreno y cubrir extensiones de terreno considerables. Utilizado generalmente para topografías no tan abruptas, ver figura 12.



Figura 12. Dron VTOL (Fuente: <https://geodegis.thinkific.com/>)

#### 2.4.4 Tipos de sensores

Cámara RGB: Captura imágenes en el espectro visible (RGB), es utilizada para levantamientos topográficos. La resolución esta expresada por el número de píxeles, las más usadas son de 12MP, 20MP, 24MP, 36MP y 42MP, entre mayor resolución mayor cobertura de área.



Figura 13. Cámara RGB (Fuente: <https://geodegis.thinkific.com/>)

Distancia focal: Generalmente representada en milímetros, es la descripción básica de un lente fotográfico. No es una medida de 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. La distancia focal indica el ángulo de visión, es decir, cuanto se captura de la escena. 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, ver figura 14.

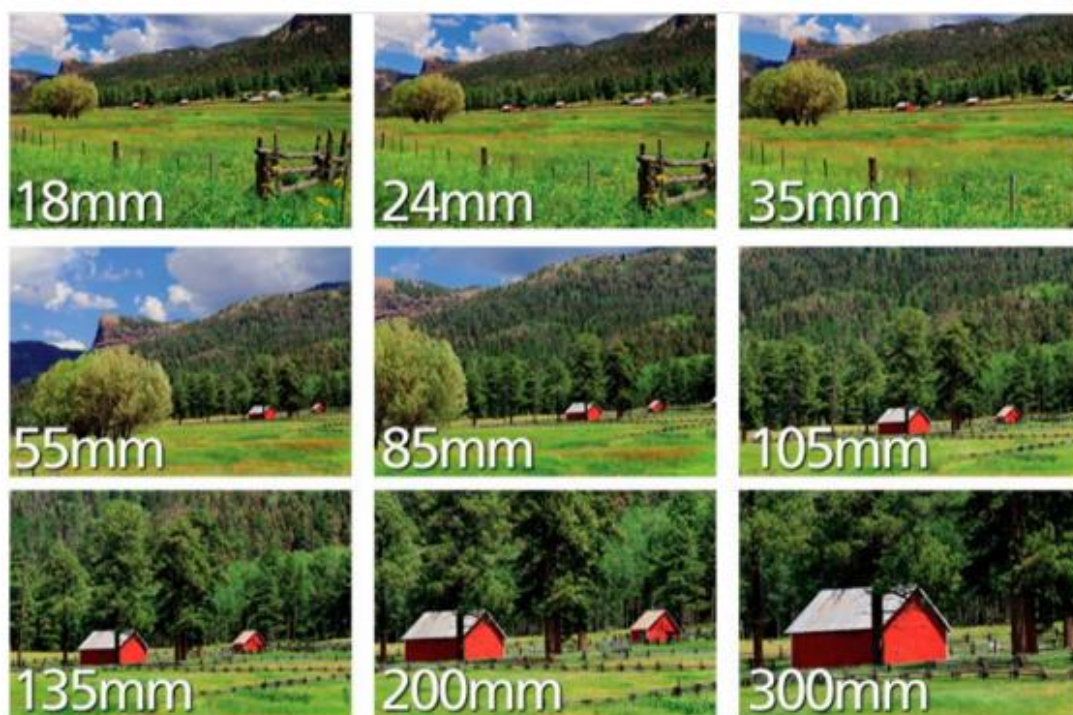


Figura 14. Distancia focal

(Fuente: <https://geodegis.thinkific.com/>)

Cámara multiespectral: Captura imágenes en diferentes longitudes de onda, como: Azul, Verde, Roja, Red-Edge (Borde rojo) y Nir (Infrarrojo cercano), utilizada para agricultura de precisión que corresponde al estudio de la salud de las plantas, asimismo investigación del medio ambiente, ver figura 15.

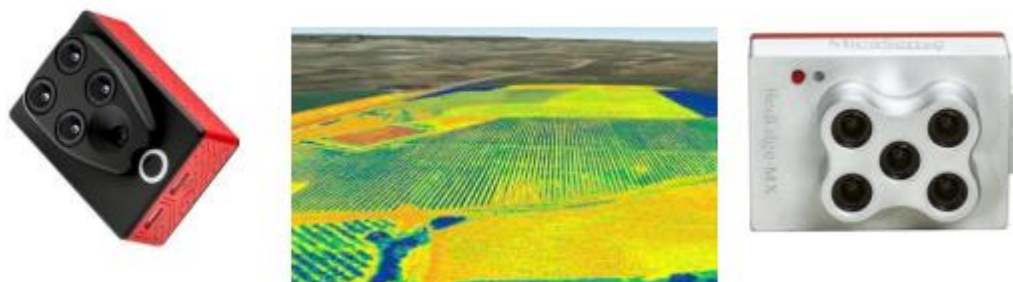


Figura 15. Cámara multiespectral

(Fuente: <https://geodegis.thinkific.com/>)

Cámara Térmica: Captura imágenes en radiación calorífica que emite un cuerpo, utilizada para extinción de incendios, agricultura, inspección de tejados, líneas eléctricas, torres de telefonía móvil, seguridad y zonas de difícil acceso, ver figura 16.



Figura 16. Cámara Térmica

(Fuente: <https://geodegis.thinkific.com/>)

LIDAR: La tecnología LiDAR es una técnica de detección remota por láser que mapea un entorno 3D utilizando una georreferenciación directa precisa. La técnica LIDAR está basada en tecnología láser, la cual permite saber la distancia entre el emisor láser y una superficie gracias a un haz de láser pulsado; las ventajas de la técnica LIDAR frente a la fotogrametría con drones son que puede llegar a cualquier área evitando las “zonas de sombra”, llegando incluso a poder “ver” debajo de la vegetación o en zonas con edificios altos debido a los ecos del LIDAR. Con esta tecnología también es posible detectar los cables del tendido eléctrico, telefónico, etc. Gracias a la condición metálica de éstos. Además, una característica adicional a destacar de la tecnología LIDAR es la obtención de una precisión altimétrica de gran calidad, ver figura 17.



*Figura 17. Imagen con técnica LIDAR*

(Fuente: <https://geodegis.thinkific.com/>)

#### **2.4.5 Usos y aplicaciones de drones**

En la actualidad tiene diferentes funciones que son fundamentales dentro de la sociedad, desde propuestas comerciales hasta el rescate de personas. Para entenderlo, un drone vendría a ser como el clásico avión de aeromodelismo, pero mucho más sofisticado. Su diseño con cámaras, GPS y sensores de todo tipo fue

inicialmente desarrollado para ser usado en los círculos militares, como misiones espías y hasta portando misiles de guerra para disparar contra blancos teledirigidos. En los últimos años, gracias a que los precios de fabricación descendieron, se amplió el uso de estos aviones y podemos disponer de esta tecnología para otras funciones más nobles como la investigación científica o el entretenimiento. Tengamos en cuenta que comprar un drone es 60 veces más barato que un helicóptero y los costos operativos son muchísimos más bajos.

Los drones se manejan con control remoto (tipo joystick) o a través de aplicaciones para smartphones o tablets. Actualmente hay diferentes apps desarrolladas para iOS, Android y hasta Linux para pilotear un drone, sacar fotos y filmar. Las empresas que se dedican al desarrollo de este producto tienen como objetivo hacerlo cada vez más intuitivo y fácil de usar para todos los públicos. Al momento ya tienen varias funciones ganadas dentro de la sociedad y otras tantas que están en plena fase de experimentación.

Aquí las tareas que hasta el momento fueron probadas con drones:

a) En eventos

Los vimos en el último mundial de fútbol en Brasil sobrevolando la cancha, mostrando desde arriba el juego con los mejores ángulos, como ninguna otra cámara podía. Recitales, desfiles de moda y hasta protestas, son captados por estos mini helicópteros que como ventaja pueden volar más bajo y más cerca de la gente que un helicóptero real y tiene muchas más posibilidades de maniobra

que un brazo de grúa. Los drones abren toda una nueva gama de posibilidades al periodismo fotográfico y a los cineastas.

b) Como delivery

Esto parece realmente de ciencia ficción: En Rusia e Israel los drones ya se encuentran haciendo envíos de pizza. En china, la empresa de correo SF Express hace envíos a través de los pequeños helicópteros. Estados Unidos, esta vez se quedó atrás en la tendencia ya que Amazon, una de las empresas más grandes de comercio electrónico del país, lanzó un video promocionando el envío de productos en 30 minutos gracias a un drone. Sin embargo, desde la misma compañía señalaron que esto no va a ser posible por lo menos, por los próximos 5 años ya que la legislación actual no lo permite.

c) En situaciones de emergencia

Los drones se destacan por su efectividad en situaciones límites, especialmente en áreas que quedaron aisladas o de difícil acceso. Se demostró la importancia de su uso, por ejemplo, en zonas que fueron azotadas por desastres naturales. Su velocidad de vuelo permite recorrer áreas enormes en muy poco tiempo. Permitiendo llevar la ayuda necesaria, traslado de bancos de sangre o en una fase previa para evaluar la ayuda necesaria en la zona o la forma de arribo al lugar.

d) Búsqueda de personas

La posibilidad de volar a poca altura junto con una cámara de alta calidad que transmite en tiempo real permite el reconocimiento inmediato de personas

perdidas en bosques o montañas, por ejemplo. En España se desarrolló, LifeSeeker, un sistema integrado con los drones que permite a éstos conectar con teléfonos móviles que quedaron sin señal e informar de su posición exacta.

e) Control fiscal

En Argentina el gobierno se hizo eco de esta tecnología y los VANT se emplean para sobrevolar terrenos que fueron declarados al fisco como baldíos. El área se sobrevuela y se corrobora si efectivamente no están construidos.

f) Vigilancia fronteriza

España comenzará a utilizarlos a través de la Guardia Civil, para controlar los ingresos marítimos. Asimismo, Estados Unidos está evaluando su uso para controlar la frontera mexicana y así disuadir posibles inmigrantes ilegales y el tráfico de drogas.

g) Zonas rurales

Los agricultores le vienen sacando mucho provecho a los drones ya que los utilizan en diferentes funciones:

- Por un lado, gracias a las fotos y videos de alta definición que permite la GoPro incorporada posibilita el monitoreo de grandes dimensiones que de otra manera seria imposible transitar. Este equipo puede recorrer más de mil hectáreas en sólo una hora permitiendo la localización temprana de plagas o malezas.
- Por otro lado, se utilizan estas naves sin tripulación para el control del rebaño.

- También se usa con fines inmobiliarios, les da a los agricultores la posibilidad de mostrar con exactitud las características de un predio en pocos minutos.

Por último, en Asia se estiman que hay unos 2400 drones utilizados para esparcir pesticidas y fertilizantes en grandes terrenos rurales.

#### h) Control de incendios forestales

En España se crearon los primeros VANT especialmente diseñados para la prevención y el control de incendios forestales. Su tarea es reunir la información necesaria para anticiparse en lo posible a la prevención y expansión de incendios.

#### i) Investigaciones arqueológicas

Son utilizados para buscar y analizar restos arqueológicos gracias a su capacidad de recorrer y tomar fotografías de áreas extensas. En Perú se utilizaron los VANT para estudiar las ruinas de Cerro Chepén obteniendo más de 700.000 fotografías en sólo diez minutos, casi 50 veces más fotos que las que se pueden obtener por otros medios.

#### j) Fines geológicos

En todo el mundo los drones se utilizan para acceder a zonas peligrosas para el ser humano. Tal es el caso de los volcanes en actividad. Los drones son capaces de tomar muestras del interior del volcán y de las cenizas que emite, permitiendo predecir erupciones logrando alertar con mayor anticipación a las poblaciones cercanas. Por otro lado, esa información también se utiliza para profundizar en la investigación científica del estudio del centro de la tierra.

Asimismo, se han utilizado drones para estudiar e intentar predecir la ruta de un huracán. Estos equipos fueron enviados al ojo de un huracán en Estados Unidos que, tomando índices de temperatura y humedad, permitió pronosticar el camino y alertar a la población disminuyendo los daños.

#### k) Investigaciones biológicas

Se han utilizado estos aviones teledirigidos para reproducir la ruta de aves en libertad. Se registra el vuelo con un GPS incorporado al ave y luego se reproduce con un dron. Los investigadores pueden determinar de esta manera el porqué del recorrido animal al tener la posibilidad de registrar exactamente las características de la zona donde vuela.

#### l) Manipulación de materiales nocivos

Como decíamos, los drones son utilizados para las tareas que son demasiado peligrosas para el ser humano. Permitiendo la manipulación, limpieza y estudio de materiales nocivos para la salud de las personas. En Japón, más precisamente en Fukushima, se utilizaron drones para obtener una vista precisa del interior del reactor nuclear con el objetivo de elaborar un plan de limpieza y prevención de futuras fugas. La utilización del avión no tripulado en este caso fue fundamental, ya que se pudo acceder a zonas que ningún ser humano podría tolerar dado el alto índice de radiación en el área.

#### m) Como satélites

Se investiga la posibilidad de utilizar drones para crear redes de internet en áreas donde aún no llega. Estos drones funcionarían con energía solar y podrían

cumplir las tareas de los satélites, pero más baratos y en una cobertura específica.

n) Jugar con drones

Como no podía ser de otra manera los drones están preparando el terreno para los juegos del futuro. Permitiendo capturar imágenes reales de los diferentes escenarios del mundo y no como son hasta ahora, interpretaciones de los paisajes. Lo que hoy es seguro es que existen modelos disponibles para los aficionados del aeromodelismo. Con un precio medianamente accesible, estas naves vienen con cámaras de muy buena calidad, y muy fáciles de maniobrar desde cualquier dispositivo inteligente.

Los drones llegaron para quedarse, los usos parecen aumentar cada día de la mano de la población civil y científica. Estamos viviendo el auge de la creatividad en funciones y aplicaciones de este aparato, las cuales parecen realmente infinitas. Probablemente, algún día con el avance de la tecnología, estas fascinantes naves nos van a permitir explorar zonas fuera del planeta y hasta donde la imaginación dé.

### **Límites de su uso**

A pesar del elevado número de ventajas que presenta la utilización de sistemas UAVs tanto en el rango militar como en el civil, también se ha de mencionar sus

principales límites, problemas y carencias que tienen hoy en día y que habrá que ir solventando. Destacamos los siguientes:

Dependencia de las estaciones de Tierra (dependiendo de su grado de autonomía) Vulnerabilidad y limitada capacidad de autodefensa Limitaciones de peso y volumen de los equipos a bordo Problema de interceptación de comunicaciones (solucionada mediante criptografía y cifrado de las comunicaciones) Dificultad de integración en el espacio aéreo: Debe asegurarse la total conformidad con la normativa de la aviación civil a fin de posibilitar la participación flexible en el tráfico aéreo general: el despegue y aterrizaje mediante técnicas y desde aeródromos normalizados, instalación de sistemas de TCAS - traffic alert an avoidance system-, sistemas de destrucción de vuelo, luces de posición, grabador de comunicaciones en vuelo, sistemas de comunicaciones con los controladores aéreos civiles, sistemas a bordo que permitan diversos modos de operación autónoma y comunicaciones, modo de regreso automático en caso de pérdida del enlace.

### **Microdrones**

[www.aretei.com](http://www.aretei.com); dice: variante de los UAV aún más pequeños y que permiten realizar con éxito muchas de todas estas posibles actividades de uso civil como son la fotografía aérea y periodística, TV, policía, bomberos, servicios de seguridad, protección medioambiental, seguimiento de construcciones,

observación, exploración, vigilancia, comunicación, etc. Se pueden construir micro UAVs, que quepan incluso en la palma de una mano, ver figura 18.



Figura 18. Minidrones

(Fuente: <https://www.controldron.com/microdrones-profesionales/>)

#### 2.4.6 Precisiones

Cuando se habla de precisión, es importante distinguir entre precisión relativa y absoluta.

Precisión relativa: Es la precisión que compara características dentro de una reconstrucción. Por ejemplo, si un modelo de un edificio muestra ventanas con dos metros de separación, y esta es la misma distancia que en el edificio real, el modelo tiene una alta precisión relativa.



Figura 19. Ejemplo precisión relativa

(Fuente: <https://geodegis.thinkific.com/>)

Precisión Absoluta: Es la precisión de la reconstrucción en relación con su verdadera posición en el planeta. Si el mismo modelo del edificio no está en el lugar correcto en el mapa base, tiene una precisión absoluta baja, incluso si tiene una precisión relativa alta.



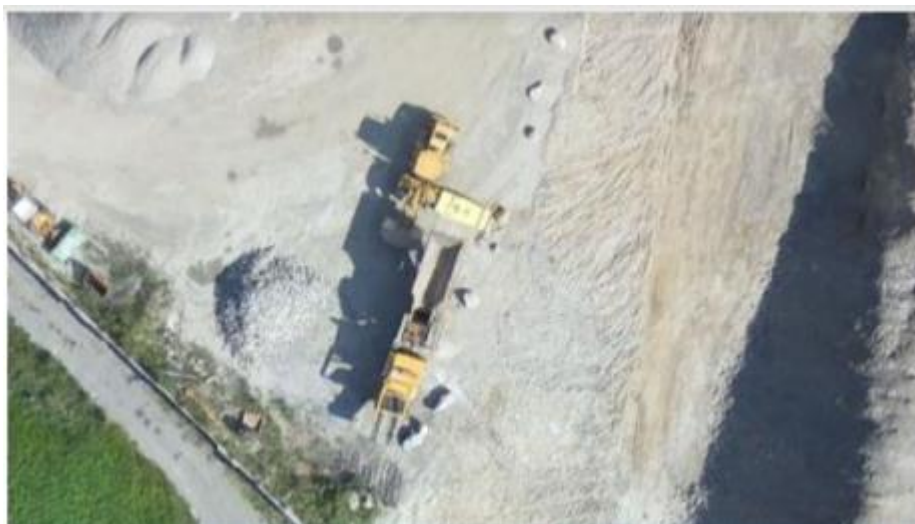
Figura 20. Ejemplo precisión absoluta

(Fuente: <https://geodegis.thinkific.com/>)

En general, la precisión esperada de un proyecto reconstruido correctamente es aproximadamente 3X Resolución Espacial (GSD)

Resolución Espacial (GSD): es la distancia entre el centro de dos píxeles consecutivos medidos en el suelo. Por ejemplo, un GSD de 5 centímetros significa que un píxel en la imagen representa 5 centímetros lineales en el suelo.

En conclusión, los levantamientos fotogramétricos con Drones tienen una precisión relativa alta, y una precisión absoluta baja, para mejorar esta última es necesario colocar puntos de control terrestre o usar Drones RTK.



*Figura 21. Resolución espacial imagen a 5cm*

*(Fuente: <https://geodegis.thinkific.com/>)*

## **2.5 Principios básicos para el levantamiento fotogramétrico con drone**

Definición de estereoscopia: es cualquier técnica capaz de recoger información visual tridimensional y/o crear la ilusión de profundidad mediante una imagen estereográfica, un estereograma o una imagen 3D (tridimensional). La ilusión de

la profundidad en una fotografía, película, u otra imagen bidimensional se crea presentando una imagen ligeramente diferente para cada ojo, como ocurre en nuestra forma habitual de ver. Muchas pantallas 3D usan este método para transmitir imágenes. Fue inventado por Sir Charles Wheatstone en 1840.

### 2.5.1 Factores claves para la preparación de vuelo

- Evaluación de la zona: Se debe tener el polígono de la zona a volar. El polígono puede importarse desde google earth o un gis en formato KML o KMZ, también puede dibujarse directamente en la aplicación.

- Tipos de plan de vuelo

En general se puede clasificar en 3 tipos:

- Longitudinal: utilizados para Ortomosaico
- Cuadriculas: utilizados para canteras y áreas construidas
- Circular: utilizado para reconstrucción 3D edificios y estructuras verticales

- Altura de Vuelo: Corresponde a la distancia vertical desde el terreno hasta el vehículo aéreo.
- Resolución Espacial (GSD): Corresponde al tamaño del píxel de la imagen y está relacionado con la altura de vuelo y la cámara. Mayor altura, mayor GSD (menos detalle) más cobertura de área. Menor altura, menor GSD (más detalle) menor cobertura de área. Con una cámara de muy buena

resolución es posible cubrir mayores extensiones porque se puede volar más alto y seguir manteniendo un GSD pequeño.

- Cámara y Distancia Focal: Es importante conocer los siguientes parámetros:
  - Modelo de la Cámara
  - Resolución de la Cámara
  - Distancia Focal
- Recubrimiento: Existe el recubrimiento longitudinal y transversal, de acuerdo con el tipo de terreno se recomienda:
  - Casos Generales: 75% de Recubrimiento Longitudinal y 60% Recubrimiento Transversal
  - Bosques, vegetación densa y campos: 85% de Recubrimiento Longitudinal y 70% Recubrimiento Transversal
  - Corredor: 85% de Recubrimiento Longitudinal para mapeo de corredor de vía única. Use una Recubrimiento Transversal del 60% si el corredor se adquiere usando un vuelo cruzado
- Precauciones:
  - Identificar los obstáculos en el terreno
  - Definir correctamente la altura de vuelo
  - Asegurarse que el tiempo de vuelo no exceda la capacidad de las baterías
  - Las baterías deben estén cargadas al 100%

- Ubicar que el lugar despegue y aterrizaje este despejado
- Situarse en un lugar en el cual se tenga visual con el Drone
- No exceder el rango de la telemetría
- Volar con un cielo despejado

### 2.5.2 Puntos de control terrestre

- Puntos de Control Terrestre (GCP o PCF): Es un punto característico cuyas coordenadas son conocidas. Estos permiten dar escala, orientación y posición absoluta al proyecto, mejorando la precisión a nivel centimétricas.
  
- Métodos de Medición: Modernos y Convencionales
  - Modernos: Se utiliza receptores GNSS, el recomendado para fotogrametría es el método estático rápido o RTK.



Figura 22. Receptores GNSS

(Fuente: <https://geodegis.thinkific.com/>)

- Convencionales: Se utiliza estaciones totales, puede utilizarse el método de poligonación o triangulaciones



Figura 23. Estación total

(Fuente: <https://geodegis.thinkific.com/>)

- Distribución de los puntos de control terrestre:
  - Polígono: Deben colocarse de manera homogénea en el área de interés.

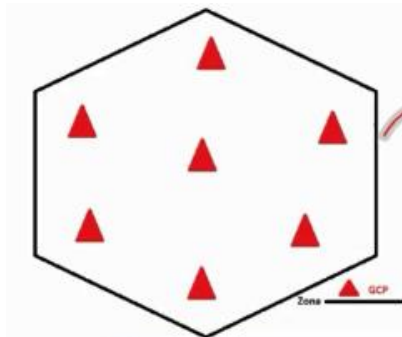


Figura 24. Distribución de puntos de control terrestre - Polígono

(Fuente: <https://geodegis.thinkific.com/>)

- Corredor: Se distribuye de una manera que se compensen entre sí.

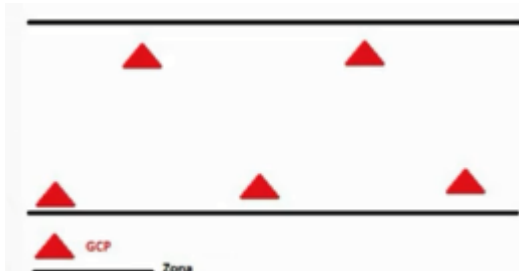


Figura 25. Distribución de puntos de control terrestre - Corredor

(Fuente: <https://geodegis.thinkific.com/>)

Cuando se establecen los puntos de control terrestre la precisión es proporcional a la distancia, esta debe ser mejor que la esperada en el proyecto.

Identificación de los puntos de control terrestre:

- Lonas: Hechas de material no reflectante. El tamaño corresponde al menos a 30 veces x GSD, ver figura 26.
- Elementos en las fotografías: Intersecciones de vías, esquinas de construcción linderos o cualquier objeto fijo en el terreno, ver figura 26.



Figura 26. Identificación de los puntos de control terrestre

(Fuente: <https://geodegis.thinkific.com/>)

Mediciones de los puntos de control terrestre pueden realizarse antes o después del vuelo. Lo importante es identificar las marcas del terreno, es decir si es con lonas, dejarlas ubicadas en el terreno cuando se está realizando el vuelo. Si son elementos naturales o hechos por el hombre, estos deben identificarse en las fotografías.

- Sistema de coordenadas: Es un conjunto de números y parámetros que se utilizan para definir la posición de cualquier objeto, estos pueden ser:
  - Sistemas de coordenadas globales: se definen mediante coordenadas de elipsoide 3D (latitud, longitud, altitud).
  - Sistemas de coordenadas nacionales: generalmente se definen mediante una proyección definida para un país específico (X, Y, altitud).
  - Sistemas de coordenadas locales: se definen mediante una proyección. El usuario establece el origen y la orientación donde sea más conveniente (X, Y, altitud).

La altitud puede ser geométrica (utilizando como referencia el nivel del elipsoide) u ortométrica (utilizando como nivel de referencia el nivel medio del mar), ver figura 27.

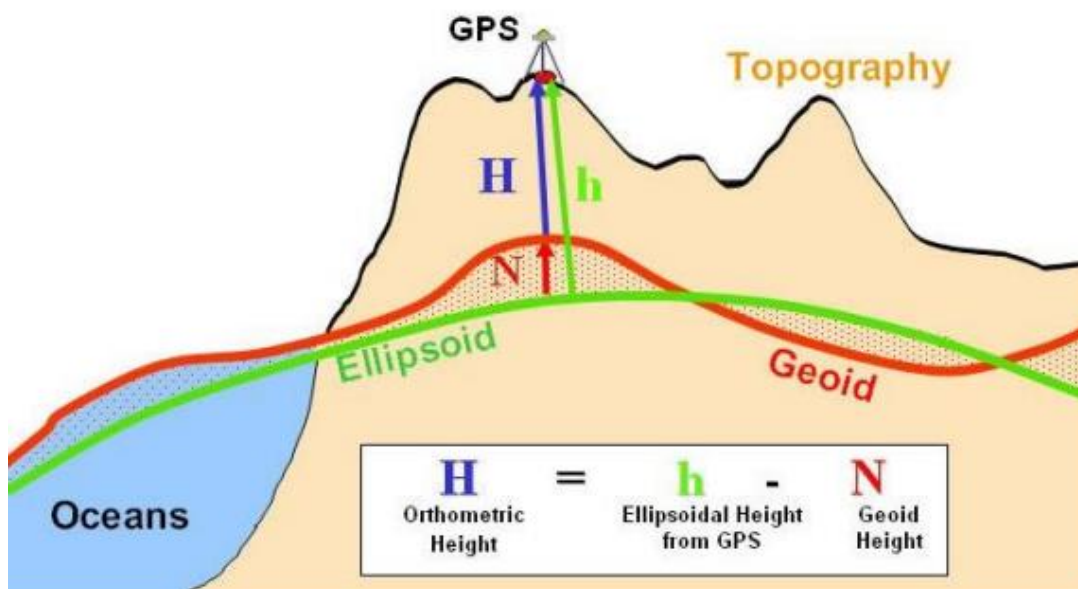


Figura 27. Altura Elipsoidal vs Altura Ortométrica

(Fuente: <https://geodeqis.thinkific.com/>)

- Consideraciones de Puntos de Control Terrestre
  - Se requiere un número mínimo de 3 puntos de control para la reconstrucción.
  - Recomendable es marcar en 2 – 4 imágenes, ya que minimiza las imprecisiones de medición y ayuda a detectar errores.
  - En los casos en que la topografía del área es compleja, entonces más puntos de control conducirán una reconstrucción más precisa.
  - Los puntos de control deben colocarse de manera uniforme en el paisaje para minimizar el error en escala y orientación.
  - En general, la precisión de los puntos de control debe ser mejor que la precisión esperada de los resultados finales.

- Los puntos de control terrestre deben ser visible en las imágenes. La lona donde se identifican el punto de control debe ser impresa al menos 30 veces X GSD.
- Si el punto de control es natural, entonces puede ser aún más difícil de identificar y marcar.

### 2.5.3 Problemas durante el vuelo

Perdida de telemetría: Implica que no se muestre en tiempo real los datos del dron como batería, posición, altura, velocidad, etc., esto ocurre porque las condiciones ambientales no son óptimas, ejemplo neblina. Otro caso es porque la misión planificada excede el rango de telemetría del equipo este generalmente oscila desde 3 – 10 Km, ver figura 28.



Figura 28. Ejemplo error por perdida de telemetría

(Fuente: <https://geodeqis.thinkific.com/>)

#### Planificación de vuelo deficiente:

- No se identificó todos los obstáculos presentes y la altura de vuelo configurada no es la más adecuada

- La memoria donde se guardan las imágenes no contaba con suficiente espacio y no se pueden seguir almacenando nuevas imágenes
- Falta de batería por dos razones: No estar cargada al 100%, La planificación excedió el tiempo de vuelo.



Figura 29. Ejemplo error por planificación de vuelo deficiente

(Fuente: <https://geodegis.thinkific.com/>)

### Condiciones climáticas:

- Lluvia: provoca que se cancele la misión, los equipos no tienen protección al agua
- Nubosidad: provoca que las imágenes capturadas estén oscuras y opacas
- Fuertes vientos: provoca que en algunas ocasiones que el dron se desestabilice y use más batería para mantenerse estable

Ante una situación de emergencia durante el vuelo, el piloto debe reaccionar, bien sea usando el comando de regreso a casa o tomando el mando manual y operar el dron.

## CAPÍTULO III: LEVANTAMIENTO EN CAMPO

### 3.1 Descripción del lugar de levantamiento

#### 3.1.1 Ubicación

El lugar de levantamiento se encuentra ubicado al final 25 Avenida Norte, en Universidad de El Salvador, sobre calle Circunvalación Universitaria, dentro de la universidad es el terreno que se encuentra ubicado al norte detrás del edificio de la Escuela de Ingeniería Industrial, comúnmente conocido como “Arenal de Mejicanos” o la “Bóveda”, ver figura 30.



Figura 30. Ubicación de lugar de levantamiento

(Fuente: Google Earth Pro)

El terreno es de naturaleza rústica y ha sido modificado artificialmente con la creación de una bóveda, la cual posee una longitud aproximada de 450 m, un

área hidráulica de 18.28 m<sup>2</sup> aguas arriba, 34.65m<sup>2</sup> aguas abajo y conecta con la bóveda de la 29 Avenida Norte y la Circunvalación universitaria; se tiene un relleno compactado sobre dicha bóveda hasta de 6 metros de altura los cuales conforman la superficie actual de la zona teniendo la formación de taludes y ondulaciones entre terreno natural y relleno.

### 3.1.2 Geología de la zona

El área de San Salvador y sus alrededores inmediatos está conformada por tres tipos diferentes de unidades litoestratigráficas (formaciones de los estratos de roca), todas ellas de origen volcánico: Formación Bálsamo, Formación Cuscatlán y Formación San Salvador, ver figura 31.

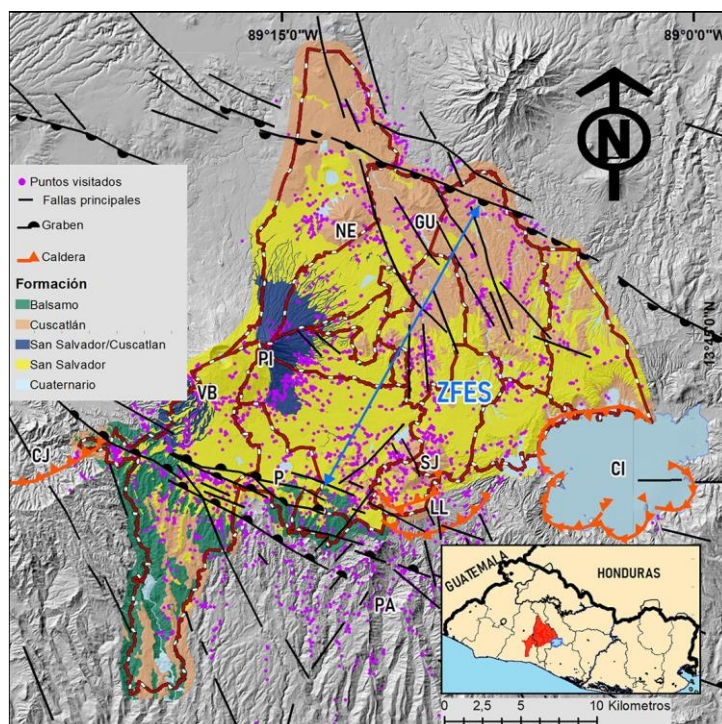


Figura 31. Ubicación, formaciones geológicas y esquema estructural del AMSS.

(Fuente: Revista Geológica de América Central, 66, 1-23, 2022)

El territorio del AMSS tiene la particularidad de ser una superposición de rocas antiguas y tefras del volcán de San Salvador e Ilopango (Pleistoceno Tardío al Holoceno) de espesor que va desde decenas de centímetros a decenas de metros.

Con la excepción de una parte del territorio en las proximidades de la caldera Ilopango, la escorias y tefras no pueden ser agrupadas como unidades geológicas separadas, por tanto, se tienen que combinar como complejos de tefras (espesor de horizontes de tefras identificados son relativamente pequeños y generalmente se superponen entre sí).

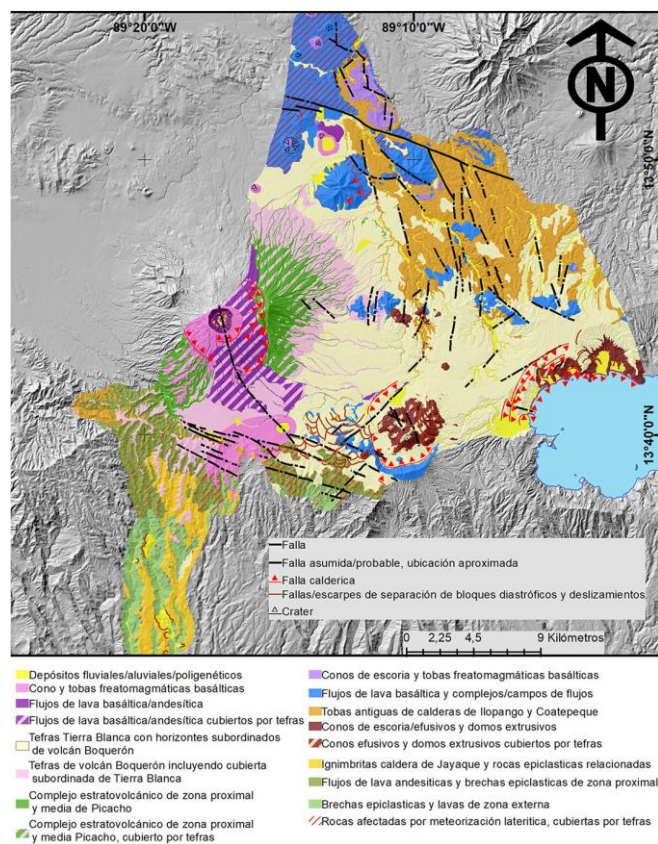


Figura 32. Mapa geológico escala 1:50,000 del AMSS

(Fuente: Revista Geológica de América Central, 66, 1-23, 2022)

La Formación Bálsamo (Mioceno Superior - Plioceno) es la unidad más antigua y representa restos de los volcanes extensos de composición andesítica hasta basáltica - flujos de lava y rocas piroclásticas que pasan lateralmente a complejos epiclásticos de rocas volcánicas.

La disposición radial, la morfología de los valles y los depósitos de zonificación faciales indican claramente que la formación es un relicto masivo de estratovolcanes (Jayaque, Panchimalco y Antiguo Ilopango), que llegaban al sur de la zona costera durante el Plioceno.

La Formación Cuscatlán (Plioceno-Pleistoceno) representa: 1) la composición intermedia de ignimbritas silíceas y tobas que pasan lateralmente a acumulaciones de rocas epiclásticas y asociadas con rocas silíceas extrusivas/efusivas de composición intermedia; 2) rocas efusivas andesíticas y basálticas contemporáneas

La Formación de San Salvador (Pleistoceno Superior- Holoceno) incluye la mayoría de productos recientes del estratovolcán San Salvador y de sus centros parasitarios (flujos de lava, escombros, tefras, epiclásticos) y los productos volcánicos más jóvenes de Ilopango denominados colectivamente como Tierras Blancas. Las unidades de tefra están separadas por horizontes de suelo fósil y acumulaciones de depósitos eólicos de color marrón.

El conocimiento de las condiciones geológicas es importante para el uso de tecnologías de construcción adecuadas, ingeniería geológica, riesgo geológico y sísmico, protección del recurso hídrico entre otros.

La zona de estudio específicamente comprende materiales de composición ácida provenientes de cuatro erupciones explosivas livianas, cuyos productos son la TB4, TB3, TB2 y TBJ. Dichos productos se describen a continuación:

Cenizas Volcánicas: conocidas locamente como “Tierra Blanca”, que son productos piroclásticos con características friccionantes en los que predomina la pómez, sus granos tienen dimensiones similares y su textura es rugosa, la distribución granulométrica varía, pero básicamente se puede clasificar como limo arenoso (ML) o arena limosa (SM) de muy baja plasticidad.

Los espesores varían de unos pocos metros al pie del volcán de San Salvador, hasta alcanzar grandes espesores en los alrededores del Lago de Ilopango.

Estos productos piroclásticos pueden dividirse en TB4, TB3, TB2 y TBJ

- TB4: tiene una composición riolítica; su espesor cerca de la caldera alcanza los 7 m y decrece gradualmente hacia el oeste a aproximadamente 3 m en Santa Tecla (Hernández et al, 2010). La unidad consiste de depósitos moderados de pómez gruesa con capas delgadas de cenizas finas en la parte de arriba y debajo de dichos depósitos.
- TB3: representa los productos de una erupción freatomagmática relativamente pequeña. Se compone de depósitos de cenizas finas con cantidades variables de lapilli acrecional y flujos piroclásticos finos a gruesos.
- TB2: Se compone de depósitos de pómez de composición dacítica de color beige a blanca (Lexa et al, 2011), mal graduada, con abundantes

minerales oscuros representados por hornblenda. El techo presenta un paleosuelo de delgado espesor, de color café oscuro.

- Tierra Blanca Joven (TBJ): se compone de siete subunidades con características físicas variables relacionadas a los diferentes mecanismos eruptivos (Hernández, 2004). Estas se presentan en la Figura 33.

Representó la última erupción ultrapliniana cuyos depósitos piroclásticos TBJ (Hernández, 2004), consisten principalmente de fragmentos de vidrio volcánico que forman cenizas de arena fina y tamaño limo (grandes cantidades), fragmentos de pómez y líticos (tamaño grava, arena y grava); polvo volcánico y cristales en pequeña cantidad (tamaño arena y limo), cuyas cenizas de caída cubrieron completamente todo el territorio actual de El Salvador y se extendieron por una centena de kilómetros.

Los flujos piroclásticos de este evento también cubren extensas áreas de los departamentos de San Salvador, La Libertad, La Paz y Cuscatlán.

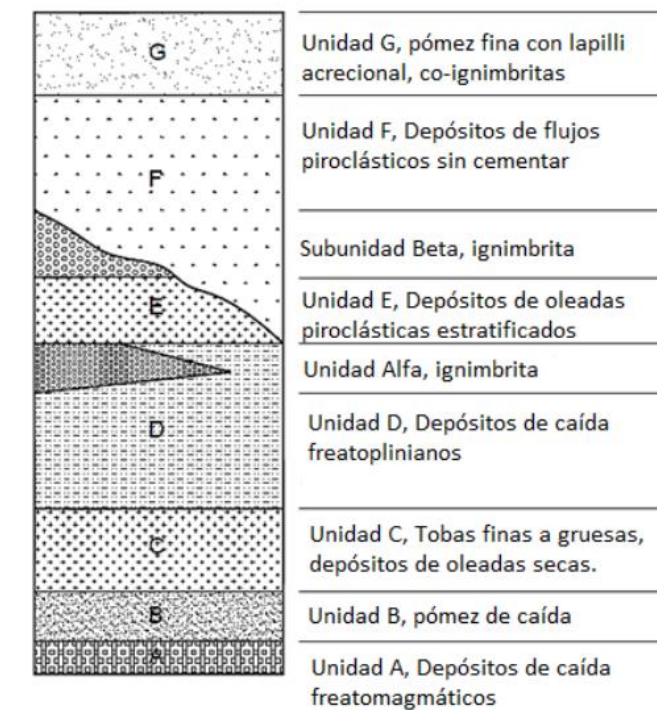


Figura 33. Estratigrafía de TBJ

(Fuente: Lexa et al. (2011). GEOLOGY AND VOLCANIC EVOLUTION IN THE SOUTHERN PART OF THE SAN SALVADOR METROPOLITAN AREA. Editor P. Hradecký)

### 3.2 Levantamiento topográfico con estación total

Equipo utilizado:

1. Una Estación total marca: Sokkia Set 6 50RX.
2. Dos trípodes.
3. Dos prismas.
4. Un colector de datos marca Recon con software survey pro.
5. Una cinta métrica de 8.00 m.
6. Un par de baterías AA.
7. Cable de comunicación Colector-Estación Total.

### **3.2.1 Guía básica del uso de la estación total y configuración**

La calidad de los resultados depende de varios factores y uno de ellos es el uso correcto de los equipos con sus respectivas configuraciones para la aplicación deseada. En el caso de la estación total acompañada de un colector de datos externo hay configuraciones que si bien son muy importantes la mayoría de operadores o topógrafos desconocen, tal es el caso de la velocidad de transmisión de señales entre la estación total y el colector de datos, otra muy importantes y desconocida la constante de prisma que es valor que afecta grandemente la medición de distancias.

A continuación, se presenta la guía de configuración tanto de constante de prisma con la velocidad de transmisión de datos entre equipos.

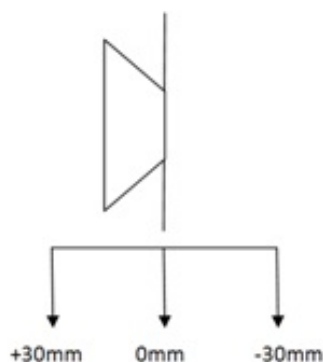
#### **La constante de prisma (PC).**

La constante del prisma, conocida también como offset, es el desfase que tiene el prisma (punto donde rebota el infrarrojo) respecto al eje del bastón, que conduciría con el punto que se desea medir (punta del bastón). Lo que hace la ET es sumarle o restarle ese offset a la distancia para obtener la medida real que coincidiría con la punta del bastón.

El haz rebota dentro del prisma, en el punto cónico del conjunto de cristales que constituyen el prisma y es de donde habría que medir respecto al eje del bastón para conocer su offset. Este dato es sumamente importante de tenerlo siempre

bien introducido en la ET ya que un valor equivocado de constante de prisma se traduce en mediciones incorrectas.

En muchos casos, a un lado o por detrás de los prismas, aparece el valor numérico de la constante. Si por ejemplo tiene un offset de +2mm (prisma de 360<sup>a</sup> de Trimble para la 5600) quiere decir que sobre la distancia medida habría que sumarle 2mm.



*Figura 34. Esquema representativo de la constante de prisma*

*(Fuente: Tesis "Análisis comparativo de modelos digitales de terreno obtenidos con técnicas satelitales GNSS y estación total", noviembre 2021)*

### **Configuración de la constante de prima en Estación Total Sokkia Set 6 50RX.**

1. Se deben poner 2 puntos en una superficie plana y con acabado no muy rugoso a una distancia conocida medida con cinta métrica, en nuestro caso 6.595 m

2. Debemos centrar y nivelar el equipo en uno de los puntos antes marcados, colocamos el prisma en el otro punto, este deberá estar centrado y nivelado sobre un trípode o bípode y realizamos el disparo, anotamos la distancia horizontal, hacemos un total de 3 disparos como mínimo.



*Figura 35. Calibración de constante de prisma en estación total*

*(Fuente: Tesis “Análisis comparativo de modelos digitales de terreno obtenidos con técnicas satelitales GNSS y estación total”, noviembre 2021)*

3. Sacamos un promedio de las distancias obtenidas en los 3 disparos y la comparamos con la distancia del paso 1.
4. Resultó como promedio 6.593 m, por lo que procedimos a cambiar la PC de la estación que viene normalmente con -30 mm de offset (constante original del prisma utilizado), colocamos -27 mm.



Figura 36. Calibración de constante de prisma en estación total

(Fuente: Tesis "Análisis comparativo de modelos digitales de terreno obtenidos con técnicas satelitales GNSS y estación total", noviembre 2021)

5. Luego al realizar 3 disparos consecutivos al prisma se obtuvo un promedio de 6.595 m lo cual era justo lo que se buscaba.
6. Se recomienda probar a diferentes distancias la constante de prisma PC ya que podría variar según la distancia.

### **Velocidad de transferencia de señales (conexión Estación Total y Colector Externo).**

Básicamente se refiere a la velocidad con la que el colector externo y la estación total intercambian los datos, la unidad de medida es el Baudio, entre mayor es el número de Baudios más rápida será la transferencia de información.

Se recomienda usar una velocidad inferior a la máxima de uno de los aparatos, por ejemplo, si el colector de datos su máxima velocidad es de 19200 Baudios se debe usar 9600 Baudios. Para lograr una conexión estable entre ambos equipos la velocidad deberá ser la misma en ambos aparatos.

### Configuración de velocidad de transmisión en estación total Sokkia SET-6 50 RX y colector de datos externo Recon con Survey Pro.

1. Revisamos la cantidad de Baudios que tiene por defecto la estación total.
2. Colocamos un numero intermedio por ejemplo 9600 Baudios.
3. En el colector de datos colocaremos la misma cantidad en el apartado de configuración de equipo, que se refiere a configurar el equipo con el que interactúa el colector, o sea, la estación total.

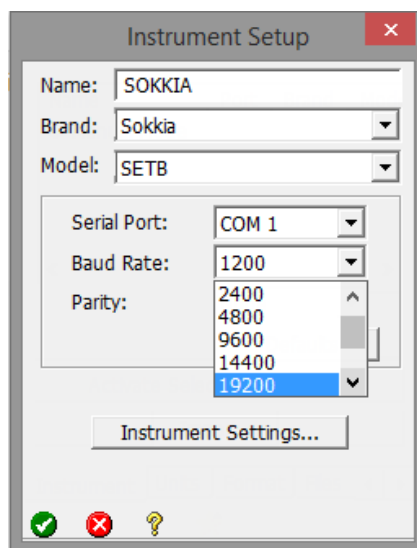


Figura 37. Configuración de Baudios en estación total y colector.

(Fuente: Tesis "Análisis comparativo de modelos digitales de terreno obtenidos con técnicas satelitales GNSS y estación total", noviembre 2021)

4. Debemos asegurarnos que la tasa de transferencia sea la misma en ambos equipos.

5. Entre mayor es la cantidad de Baudios más rápida es la transferencia de información.

### 3.2.2 Guía básica del uso del colector de datos y configuración

Se usarán dos técnicas de medición en conjunto (Radiación y Poligonación) para darles coordenadas y elevación a los puntos en el terreno utilizando el software llamado “SURVEY PRO” dentro del colector Recon, se muestran a continuación los pasos seguidos.

**Paso 1:** Conectar correctamente el colector con el cable a la Estación Total, accedemos al software (Survey pro), dar clic en “File” e ingresar a “Open/New”, luego damos clic en “New” para crear un nuevo trabajo, ver Figura 38 y 39 respectivamente.

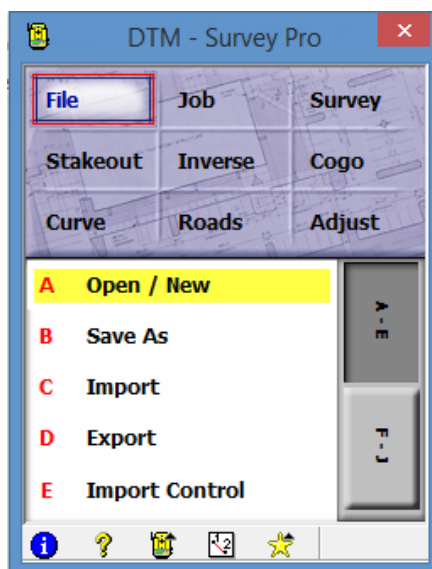


Figura 38. Opción de apertura de archivo.

(Fuente: Tesis “Análisis comparativo de modelos digitales de terreno obtenidos con técnicas satelitales GNSS y estación total”, noviembre 2021)

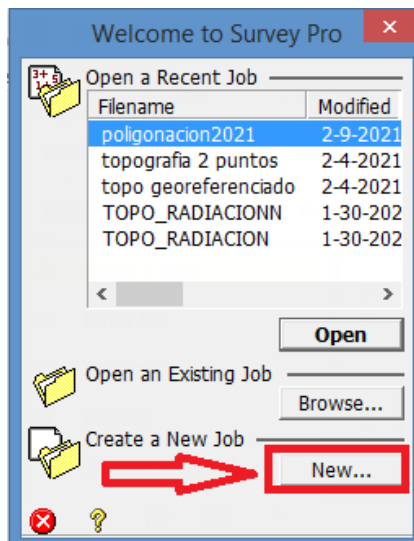


Figura 39. Apertura de un nuevo trabajo.

(Fuente: Tesis “Análisis comparativo de modelos digitales de terreno obtenidos con técnicas satelitales GNSS y estación total”, noviembre 2021)

A continuación, debemos ingresar el nombre de nuestro trabajo (DTM en nuestro ejemplo) y damos clic en “Next”, ver Figura 40.

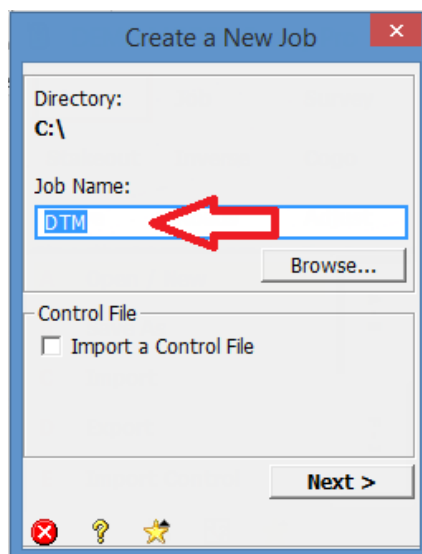
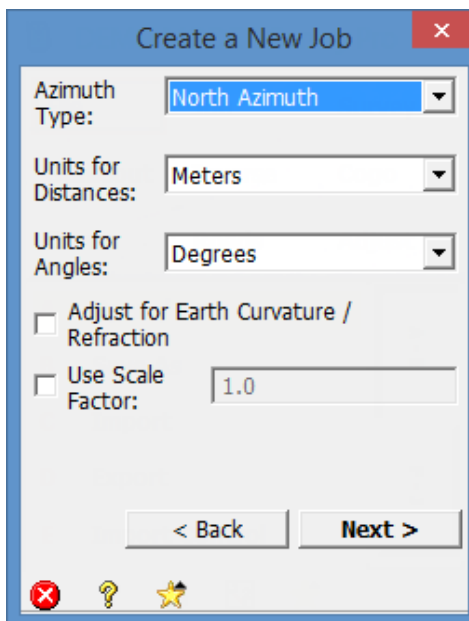


Figura 40. Nombre del archivo.

(Fuente: Tesis “Análisis comparativo de modelos digitales de terreno obtenidos con técnicas satelitales GNSS y estación total”, noviembre 2021)

**Paso 2:** Configuración de las unidades de medida.



*Figura 41. Configuración de unidades de medida.*

*(Fuente: Tesis “Análisis comparativo de modelos digitales de terreno obtenidos con técnicas satelitales GNSS y estación total”, noviembre 2021)*

Se debe dejar la configuración como se muestra en la Figura 41 y damos clic en “Next”.

**Paso 3:** Ingresar nombre, coordenadas, elevación y descripción de nuestro punto ocupado (coordenada de amarre No 1) en el formato requerido (LAMBERT SIRGAS ESA 2007).

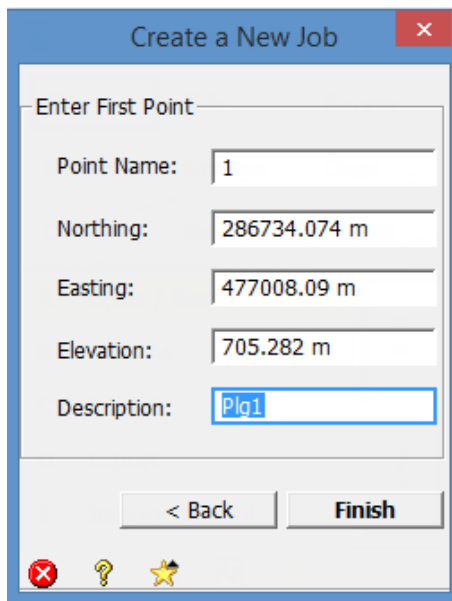


Figura 42. Configuración de coordenadas de punto ocupado.

(Fuente: Tesis “Análisis comparativo de modelos digitales de terreno obtenidos con técnicas satelitales GNSS y estación total”, noviembre 2021)

En “Point Name” ingresamos siempre el número 1, éste será nuestro punto ocupado. En el apartado de “Northing” y “Easting” ingresamos las coordenadas de “Y” y “X” respectivamente, luego se ingresa la elevación ortométrica para finalmente en “Description” agregar una descripción a nuestro punto ocupado que generalmente es “Plq1”, ver Figura 42.

Luego damos clic en “Finish”.

**Paso 4:** Configuración de sincronización de Colector – Estación Total.

Hacer clic en “Job” y posteriormente ingresar a “Settings” según Figura 43.

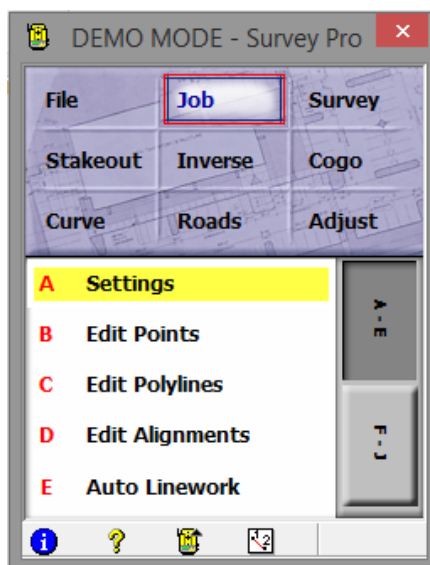


Figura 43. Configuración de sincronización Colector-Estación.

(Fuente: Tesis “Análisis comparativo de modelos digitales de terreno obtenidos con técnicas satelitales GNSS y estación total”, noviembre 2021)

Luego hacemos clic en “Create New Instrument” para agregar un nuevo equipo como se muestra en Figura 44.

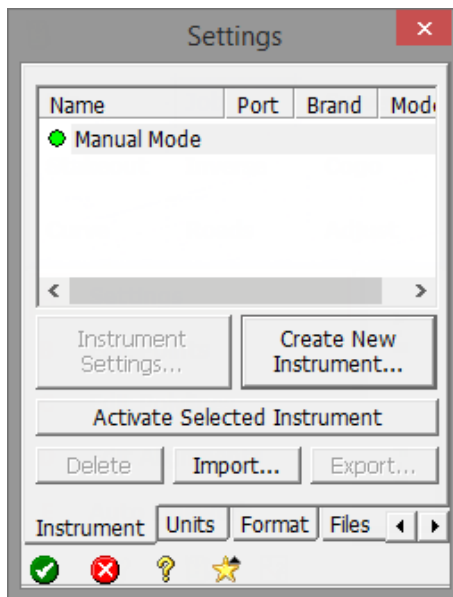


Figura 44. Creación de un nuevo instrumento.

(Fuente: Tesis “Análisis comparativo de modelos digitales de terreno obtenidos con técnicas satelitales GNSS y estación total”, noviembre 2021)

Posteriormente como se presenta en la Figura 45, agregamos el nombre de nuestro equipo, desplegamos en “Brand” y elegimos la marca del equipo que poseemos, en nuestro caso, estamos utilizando una Estación Total Sokkia modelo SET 6 50RX.

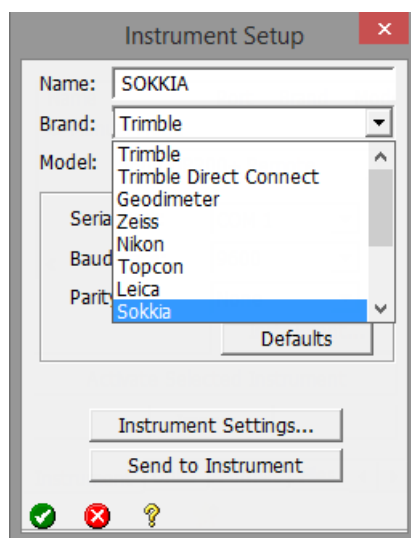


Figura 45. Selección de la marca del equipo.

(Fuente: Tesis “Análisis comparativo de modelos digitales de terreno obtenidos con técnicas satelitales GNSS y estación total”, noviembre 2021)

Se procede a elegir el modelo de nuestro equipo en base a Figura 46, al no tenerse el modelo que poseemos, elegimos el modelo SET B que es un modelo generalizado que incluye modelos de Estación Total Sokkia.

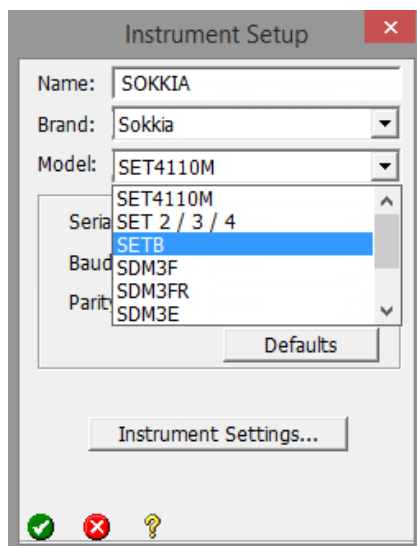


Figura 46. Selección del modelo del equipo.

(Fuente: Tesis “Análisis comparativo de modelos digitales de terreno obtenidos con técnicas satelitales GNSS y estación total”, noviembre 2021)

El paso final es configurar la velocidad de transferencia de datos según Figura 47, desplegando “Serial Port”, hay que recalcar que la Estación Total y en la configuración del colector que se muestra se debe tener el mismo valor (19200 como ejemplo); las demás configuraciones se dejan tal como se muestra en Figura 48.

Para que las configuraciones se guarden debemos hacer clic siempre sobre el cheque verde que aparece en la parte inferior izquierda de la pantalla del colector.

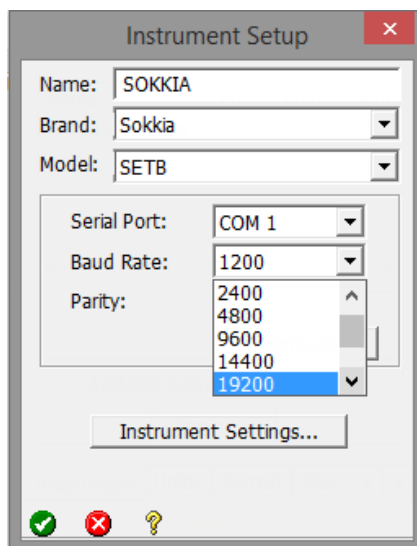


Figura 47. Configuración de Baudios en estación total y colector.

(Fuente: Tesis "Análisis comparativo de modelos digitales de terreno obtenidos con técnicas satelitales GNSS y estación total", noviembre 2021)

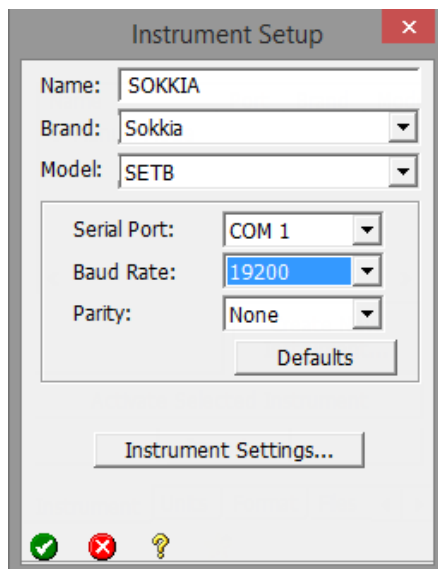


Figura 48. Configuraciones estáticas.

(Fuente: Tesis "Análisis comparativo de modelos digitales de terreno obtenidos con técnicas satelitales GNSS y estación total", noviembre 2021)

**Paso 5:** Ingreso de coordenada de amarre No 2 (vista atrás).

Para realizar el trazo de nuestra poligonal se necesita un punto con coordenadas conocidas y precisas utilizado para dar vista atrás. A continuación, se muestra el procedimiento.

Según Figura 49, siempre en el apartado de “Job”, damos clic en “Edit Point”.

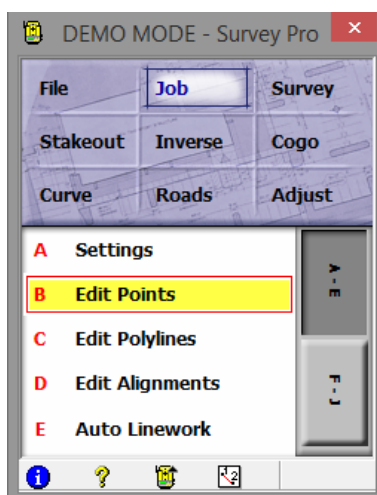


Figura 49. Ingreso a sección B.

(Fuente: Tesis “Análisis comparativo de modelos digitales de terreno obtenidos con técnicas satelitales GNSS y estación total”, noviembre 2021)

Según Figura 50, hacemos clic en “Insert” para agregar los datos de nuestro punto.

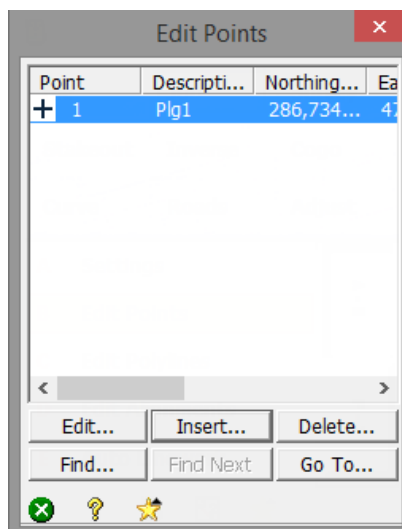


Figura 50. Insertar punto No 2.

(Fuente: Tesis “Análisis comparativo de modelos digitales de terreno obtenidos con técnicas satelitales GNSS y estación total”, noviembre 2021)

Ingresamos el nombre de nuestro punto en “Point Name” y la descripción en “Description” según Figura 51 y luego hacemos clic en “Location”. En nuestro proyecto usamos 2000 para el nombre del punto para evitar confusiones en el ajuste de la poligonal; Plg 12 era el nombre real y descripción del punto.

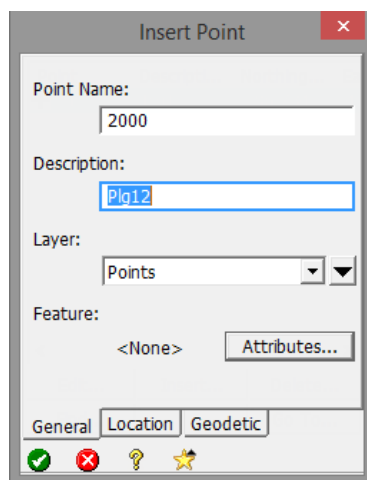
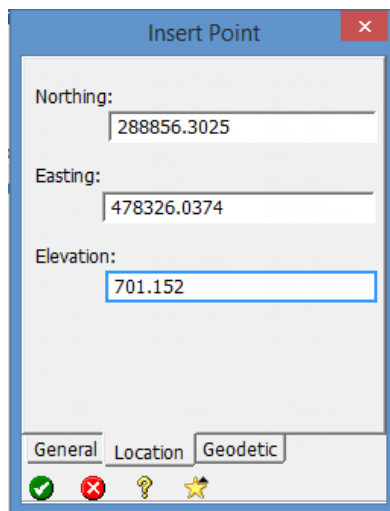


Figura 51. Nombre y descripción de punto.

(Fuente: Tesis “Análisis comparativo de modelos digitales de terreno obtenidos con técnicas satelitales GNSS y estación total”, noviembre 2021)

Al ingresar a “Location” ingresamos los datos de nuestro punto conocido como se muestra en Figura 52.



Insert Point

Northing:  
288856.3025

Easting:  
478326.0374

Elevation:  
701.152

General Location Geodetic

✓ ✗ ? ★

Figura 52. Coordenadas de punto de amarre.

(Fuente: Tesis “Análisis comparativo de modelos digitales de terreno obtenidos con técnicas satelitales GNSS y estación total”, noviembre 2021)

Para guardar se hace clic en el cheque verde de la izquierda inferior y para salir de la ventana siempre se hace clic en el símbolo “X”.

**Paso 6:** Configuración del punto ocupado y la vista atrás.

Ingresamos al apartado de “Survey” e ingresamos a “Backsight Setup” como se muestra en Figura 53.

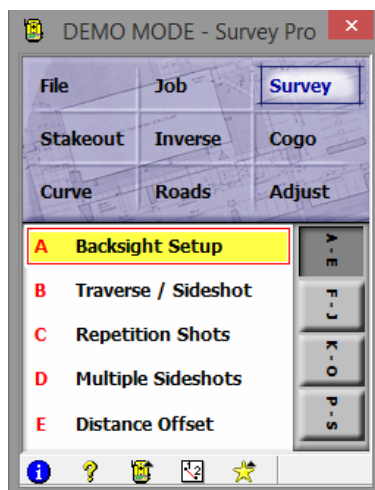


Figura 53. Configuración de vista atrás (Backsight).

(Fuente: Tesis “Análisis comparativo de modelos digitales de terreno obtenidos con técnicas satelitales GNSS y estación total”, noviembre 2021)

En “Occupy Point” desplegamos y elegimos “Choose from list” para agregar nuestro punto ocupado desde la lista previamente ingresada como se muestra en Figura 54.

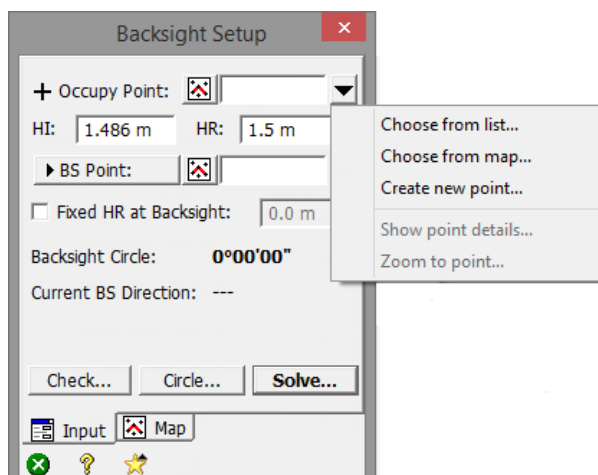


Figura 54. Menú vista atrás (Backsight).

(Fuente: Tesis “Análisis comparativo de modelos digitales de terreno obtenidos con técnicas satelitales GNSS y estación total”, noviembre 2021)

Seleccionamos el punto 1 que es el punto ocupado (donde estamos estacionados) como se muestra en la Figura 55 a continuación, y damos clic en el cheque verde en la izquierda inferior.

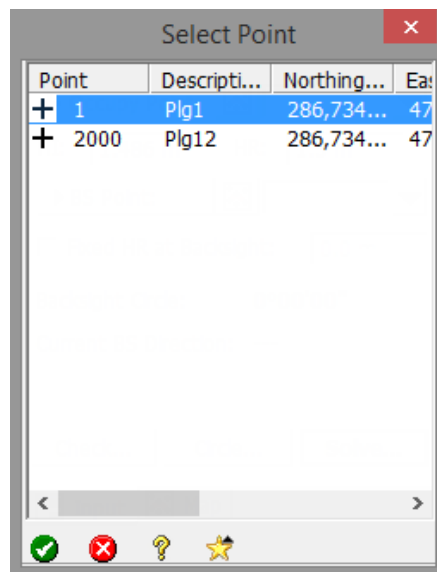


Figura 55. Selección del punto ocupado.

(Fuente: Tesis “Análisis comparativo de modelos digitales de terreno obtenidos con técnicas satelitales GNSS y estación total”, noviembre 2021)

De igual forma, para la vista atrás elegimos “BS Point” y desplegamos la lista para seleccionar el punto 2000 que es el punto de coordenadas conocidas ingresado para la vista atrás, ver Figura 56. Si no tenemos un punto con coordenadas conocidas debemos elegir “BS Direction” haciendo clic sobre “BS Point” una vez, esto es, para dar vista atrás a una dirección conocida que generalmente es el Norte Magnético.

En los apartados de “HI” y “HR” ingresamos siempre la altura del aparato y la altura del prisma respectivamente.

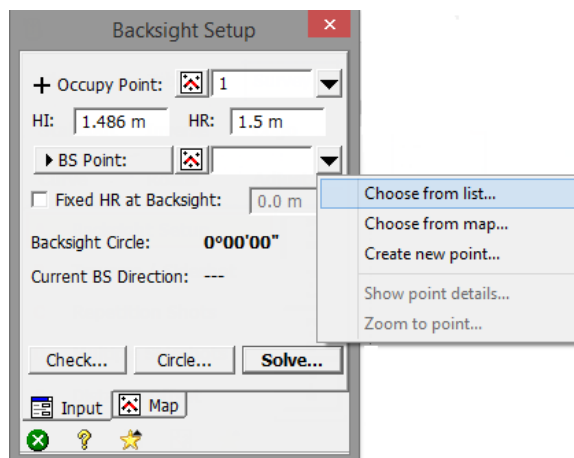


Figura 56. Selección del punto para vista atrás.

(Fuente: Tesis “Análisis comparativo de modelos digitales de terreno obtenidos con técnicas satelitales GNSS y estación total”, noviembre 2021)

**Paso 7:** Vista atrás a partir de punto ocupado.

Luego de las configuraciones del paso 6, procedemos a dar vista atrás desde el equipo disparando al prisma en el punto 2000.

Damos clic en “Circle” según Figura 57, nos debe aparecer la pantalla que se muestra en Figura 58.

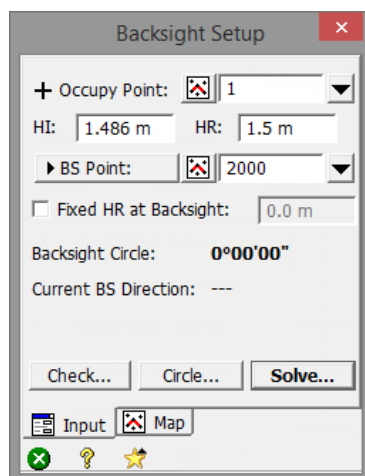


Figura 57. Baksight configurado.

(Fuente: Tesis “Análisis comparativo de modelos digitales de terreno obtenidos con técnicas satelitales GNSS y estación total”, noviembre 2021)

Para poner en cero el conteo de la Estación Total se puede hacer de 2 maneras:

1. Manualmente en cero a través de “0set” desde el equipo y leer desde el equipo.
2. Enviando el cero desde el Colector a través de “Set” como se muestra en Figura 58. Al usar este método, al dar clic en set, automáticamente debe poner en cero la Estación Total, esto, si hay una correcta sincronización Equipo-Colector.

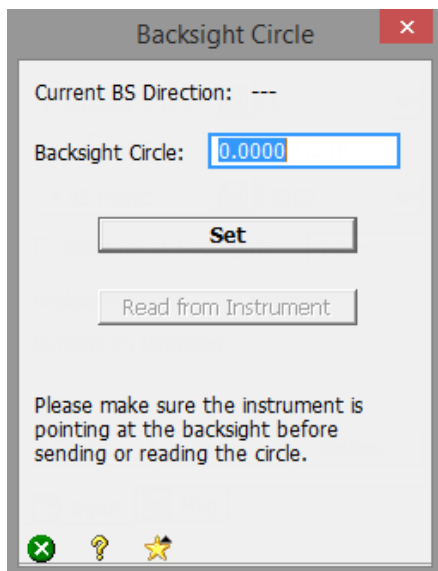


Figura 58. Puesta en cero para línea base, pantalla generada por “Circle”.

(Fuente: Tesis “Análisis comparativo de modelos digitales de terreno obtenidos con técnicas satelitales GNSS y estación total”, noviembre 2021)

En este caso usaremos el método 2, para finalizar, debemos dar clic en “Solve”, ver Figura 57, y dar clic en “Send circle”, ver Figura 59. Guardamos la configuración con el cheque verde en la izquierda inferior y nos debe aparecer una pantalla donde se muestran los dos puntos (ocupado y vista atrás) unidos

por una línea recta conocida como línea base, ver Figura 60, luego, cerramos la ventana con “x” y estamos listo para empezar nuestro levantamiento.

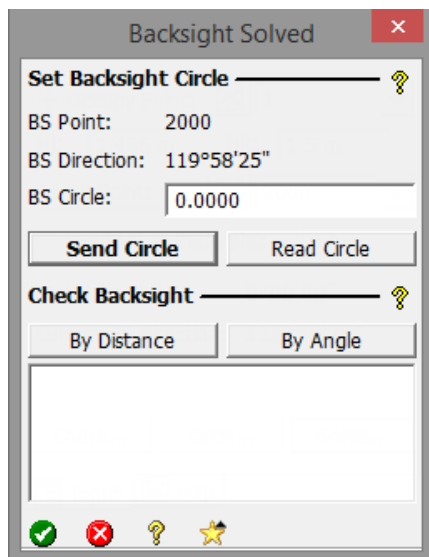


Figura 59. Pantalla generada por “Solve”.

(Fuente: Tesis “Análisis comparativo de modelos digitales de terreno obtenidos con técnicas satelitales GNSS y estación total”, noviembre 2021)

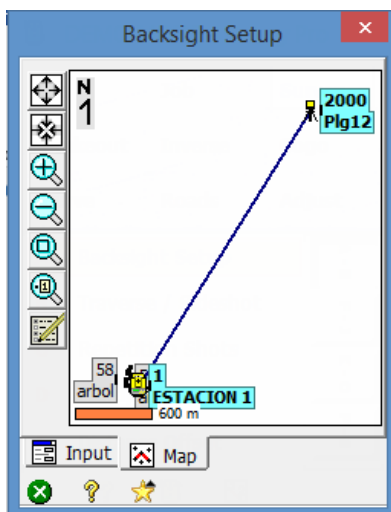


Figura 60. Definición de línea base.

(Fuente: Tesis “Análisis comparativo de modelos digitales de terreno obtenidos con técnicas satelitales GNSS y estación total”, noviembre 2021)

**Paso 8:** Levantamiento utilizando “Traverse/Sideshot”.

### Radiación

Para aplicar el método de Radiación basta con realizar disparos (hacer clic en Sideshot), hacia el prisma sobre todos los puntos que se logran visualizar desde el punto ocupado o punto 1, estos puntos pueden ser los de un lindero o puntos dentro del terreno (Nivel) que usaremos para generar el DMT o cualquier tipo de estudio generalmente hablando, ver Figura 61.

Para este modelo de Estación Total, Cuando el punto es capturado se escuchan dos sonidos de forma consecutiva, luego, en el colector nos aparece la confirmación para almacenar el punto en donde podemos cambiar la descripción o el número del punto si es necesario. Cuando estamos seguros, damos clic en el cheque verde para almacenar el punto, de forma automática nos agrega el siguiente punto a levantar.

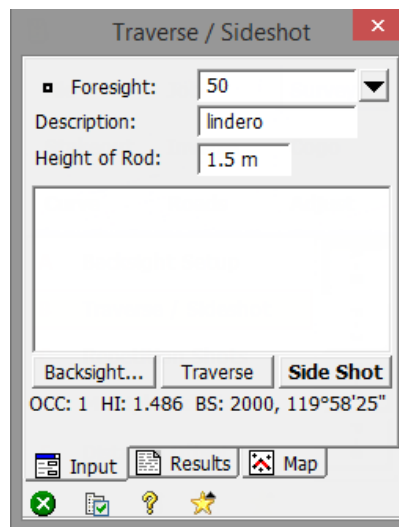


Figura 61. Ingreso de nombre y descripción de punto y Side Shot.

(Fuente: Tesis “Análisis comparativo de modelos digitales de terreno obtenidos con técnicas satelitales GNSS y estación total”, noviembre 2021)

Antes de dar clic en “Sideshot”, en “Foresight” ingresamos el número del punto que vamos a levantar, se recomienda utilizar puntos por arriba de 50 para evitar confusiones con la numeración de la poligonal (puntos arriba de 1), ver figura 61. En “Description” agregamos la descripción del grupo de puntos, mientras que “Height of Rod” representa la altura del prisma. En la parte inferior, podemos observar de forma resumida nuestro punto ocupado (CC), la altura del aparato (HI) y el punto de vista atrás (BS).

En nuestro levantamiento, utilizamos la numeración de 1-10 para definir la poligonal de amarre (a través de “Traverse”), 50-99 para definir el lindero y 100 en adelante para los puntos sobre el terreno (Nivel).

### **Poligonación**

El método de Poligonación se utiliza cuando ya no es posible visualizar puntos en el terreno desde un punto ocupado, se opta entonces, por realizar un cambio de estación para generar un nuevo punto ocupado y visualizar otro grupo de puntos (de lindero o sobre el terreno propio). El procedimiento es el siguiente:

Para realizar el cambio de estación a un nuevo punto, se debe agregar el número de éste en “Foresight”, mientras que en “Description” se insertará la descripción del segundo punto ocupado (Plg2), ver Figura 62 El paso siguiente es dar clic en “Traverse” mientras enfocamos con el equipo hacia el nuevo punto (Plg2).

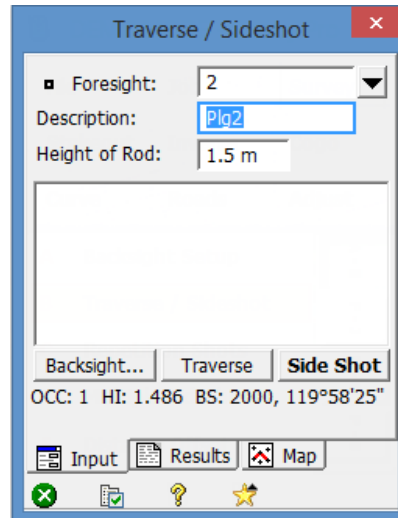


Figura 62. Uso de Traverse.

(Fuente: Tesis “Análisis comparativo de modelos digitales de terreno obtenidos con técnicas satelitales GNSS y estación total”, noviembre 2021)

Al dar clic en “Traverse” nos aparece si deseamos “mover el equipo ahora” (Traverse Now), ver Figura 63, hacemos clic en esa opción y luego se procede a desmontar el equipo; luego procedemos a nivelar el equipo en el nuevo punto ocupado (Plg2).

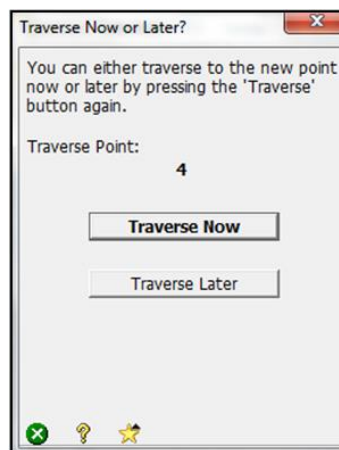


Figura 63. Confirmación de movimiento del equipo.

(Fuente: Tesis “Análisis comparativo de modelos digitales de terreno obtenidos con técnicas satelitales GNSS y estación total”, noviembre 2021)

**Paso 9:** Vista atrás desde el nuevo punto de la poligonal.

En este paso, al dar clic en “Traverse Now” nos dirige a una pantalla en donde debemos repetir el paso 7 o “Backsight Setup” (dando clic en “Circle” y “Solve”). Ahora nuestro punto ocupado será el “Plg2” y la vista atrás la daremos hacia el punto ocupado anterior (Plg1); en la configuración del paso 7 debemos ingresar los nuevos parámetros (altura de aparato, ver figura 64 y altura de prisma si se modificó, ver paso 7) de nuestro nuevo punto ocupado antes de hacer clic en “Circle” y “Solve” enfocando el punto “Plg1”.

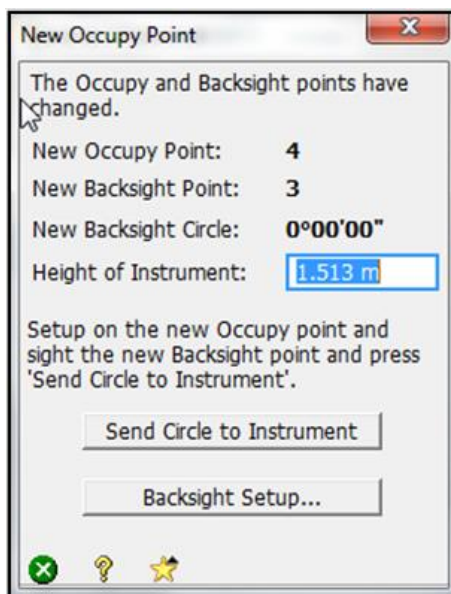


Figura 64. Ingreso de nueva altura de aparato

(Fuente: Tesis “Análisis comparativo de modelos digitales de terreno obtenidos con técnicas satelitales GNSS y estación total”, noviembre 2021)

Luego de este procedimiento estamos listos para seguir levantando puntos ya sean de lindero o puntos dentro del terreno.

**Paso 10:** Levantamiento del siguiente grupo de puntos.

Para seguir levantando puntos desde el nuevo punto ocupado, debemos dar clic en “Sideshot” según paso 8 utilizando el método de radiación.

Cuando ya no se logren visualizar más puntos desde el nuevo punto ocupado “Plg2”, se debe colocar otro nuevo “Plg” utilizando la herramienta de “Traverse” según el paso 8 en la sección de Poligonación.

**Paso 11:** Cierre de la poligonal de amarre.

Cuando ya se tiene levantado todo el terreno agregando un número necesario de puntos en la poligonal de amarre (Plgs), se procede a realiza el cierre de esta.

Para cerrar la poligonal de amarre desde el último punto ocupado (en nuestro caso fue Plg9), basta con hacer otro “Traverse” con el número siguiente (Plg10) y enfocando con el equipo el punto ocupado inicial “Plg1”. Cuando hacemos clic en “Traverse” y nos aparece la opción de mover el equipo ahora (Traverse Now), debemos simplemente salir de la ventana haciendo clic en el botón “x” sin hacer clic en nada más. A partir de este paso tenemos la poligonal cerrada.

Existe una forma de verificar que tenemos la poligonal cerrada y consiste en realizar una comparación de “Plg1 y Plg10”, estas coordenadas deben ser iguales para que la poligonal esté cerrada de forma lineal y angular. Obviamente, siempre existen errores a la hora de los levantamientos y la poligonal tendrá un error de cierre; en nuestro levantamiento topográfico no se debía exceder de 10 cm de error lineal, esta precisión depende de la naturaleza de cada levantamiento y su aplicación.

Para realizar un cierre total angular y lineal, se debe llevar a cabo un ajuste a todos los puntos que conforman la poligonal de amarre con el mismo software del colector, este paso se resume en el apartado siguiente.

### Ajuste de la poligonal de amarre

**Paso 1:** ingresar el menú.

Debemos ingresar al apartado de “Adjust” y posteriormente a “Traverse Adjust” según figura 65.

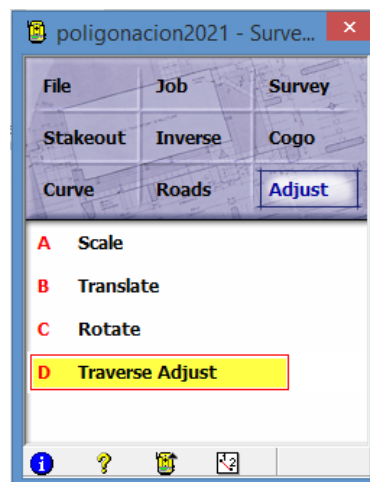


Figura 65. Sección 4, ajuste de poligonal.

(Fuente: Tesis “Análisis comparativo de modelos digitales de terreno obtenidos con técnicas satelitales GNSS y estación total”, noviembre 2021)

En “To/From” debemos ingresar el rango de los puntos que conforman nuestra Poligonal, para este ejemplo estamos utilizando un proyecto creado previamente que tiene 6 puntos, elegimos el rango “1-6” y damos clic en aceptar en la parte inferior izquierda; se procede también a marcar las opciones que se muestran

(Compass Rule/Bowditch Adjustment y Adjust Elevations) que es el método de ajuste, luego, hacemos clic en “Next”, ver figura 66 y figura 67.

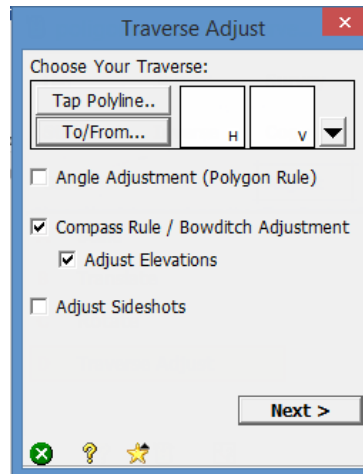


Figura 66. Selección del método de ajuste.

(Fuente: Tesis “Análisis comparativo de modelos digitales de terreno obtenidos con técnicas satelitales GNSS y estación total”, noviembre 2021)

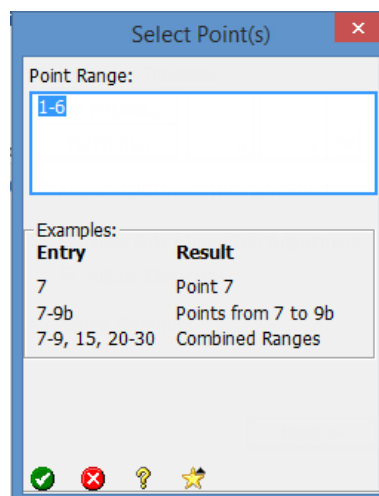


Figura 67. Definición del rango de puntos.

(Fuente: Tesis “Análisis comparativo de modelos digitales de terreno obtenidos con técnicas satelitales GNSS y estación total”, noviembre 2021)

Nos aparece la pantalla que se muestra en Figura 68, hacemos clic en “Ok”.

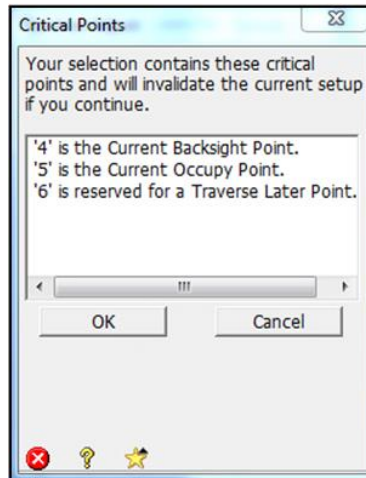


Figura 68. Confirmación para seguir ajuste.

(Fuente: Tesis “Análisis comparativo de modelos digitales de terreno obtenidos con técnicas satelitales GNSS y estación total”, noviembre 2021)

Al dar clic en “OK” nos aparece la pantalla que se muestra en Figura 69, acá, se debe elegir la opción de “Close Traverse” que representa una Poligonal Cerrada, luego, damos clic el “Next”.

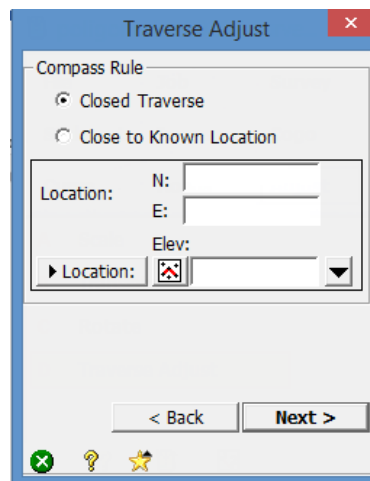


Figura 69. Selección del tipo de poligonal.

(Fuente: Tesis “Análisis comparativo de modelos digitales de terreno obtenidos con técnicas satelitales GNSS y estación total”, noviembre 2021)

Al hacer clic en siguiente, nos aparece una pantalla en donde nos muestra el error lineal, el error angular, la precisión y otros datos. En esta parte debemos verificar si la precisión está en el rango permisible según los requerimientos del proyecto. Si está dentro del rango, hacemos clic en “Adjust” y posteriormente en “Yes”, ver Figura 70; si nos pasamos de la tolerancia permitida, se recomienda repetir el levantamiento de la Poligonal.

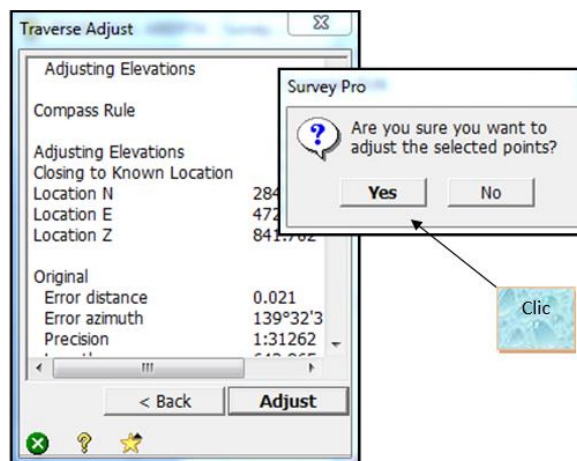


Figura 70. Ajustar poligonal.

(Fuente: Tesis “Análisis comparativo de modelos digitales de terreno obtenidos con técnicas satelitales GNSS y estación total”, noviembre 2021)

El paso final es simplemente dar clic en “Done” para finalizar el ajuste de la Poligonal, ver Figura 71.

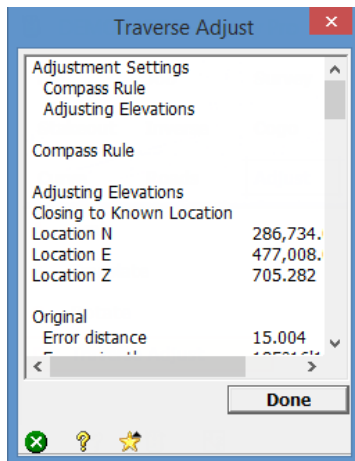


Figura 71. Finalizar ajuste.

(Fuente: Tesis “Análisis comparativo de modelos digitales de terreno obtenidos con técnicas satelitales GNSS y estación total”, noviembre 2021)

*Nota: Se recomienda antes de ajustar una Poligonal, crear una copia previamente en el apartado de “File” para evitar realizar trabajos nuevamente o para realizar comparaciones post ajuste.*

## Exportar nuestro levantamiento

**Paso 1:** Ingresar al apartado de “File”, ver Figura 72.

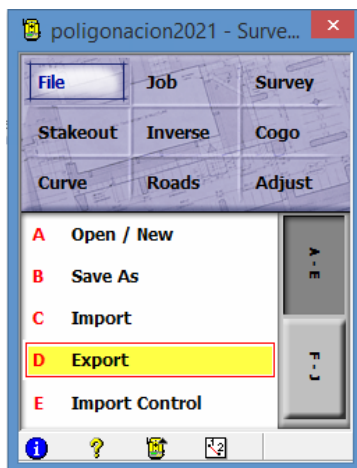


Figura 72. Sección D, exportar datos.

(Fuente: Tesis “Análisis comparativo de modelos digitales de terreno obtenidos con técnicas satelitales GNSS y estación total”, noviembre 2021)

Cuando hacemos clic en “Export” nos muestra una lista de formatos para nuestro archivo, elegimos el formato “Txt” y damos clic en “Export”, ver Figura 73.

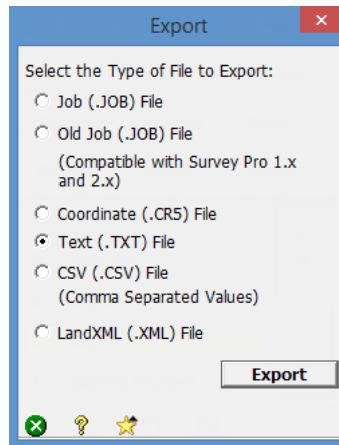


Figura 73. Selección del formato de datos.

(Fuente: Tesis “Análisis comparativo de modelos digitales de terreno obtenidos con técnicas satelitales GNSS y estación total”, noviembre 2021)

Ingresamos luego a “To/from”, acá, ingresamos el rango que incluya todos los puntos que levantamos; por ejemplo: 1-1000, damos en aceptar y finalmente en “Next”, ver Figura 74 y Figura 75.

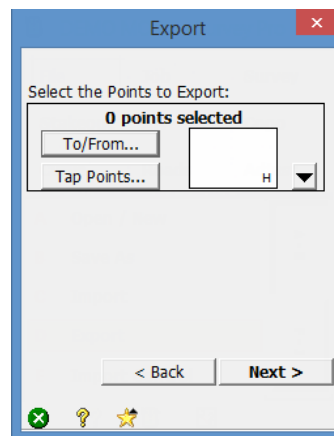


Figura 74. Editar rango de datos.

(Fuente: Tesis “Análisis comparativo de modelos digitales de terreno obtenidos con técnicas satelitales GNSS y estación total”, noviembre 2021)

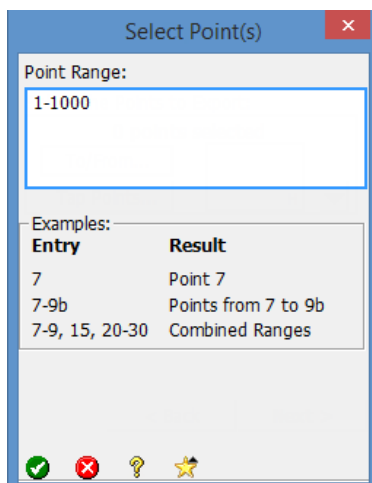


Figura 75. Ingreso de rango de datos.

(Fuente: Tesis “Análisis comparativo de modelos digitales de terreno obtenidos con técnicas satelitales GNSS y estación total”, noviembre 2021)

Luego procedemos a elegir el formato que tendrán nuestras coordenadas; elegimos delimitado por comas (Comma) y en coordenadas (Coordinates) elegimos “Plane” y damos clic en “Next”, ver Figura 76.

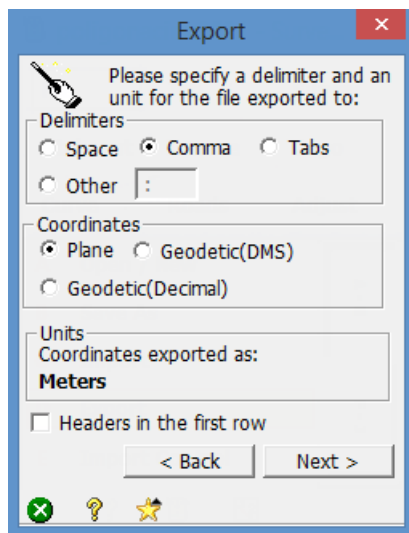
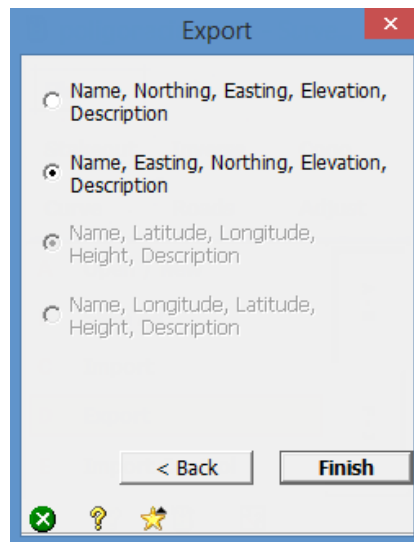


Figura 76. Edición del formato de datos.

(Fuente: Tesis “Análisis comparativo de modelos digitales de terreno obtenidos con técnicas satelitales GNSS y estación total”, noviembre 2021)

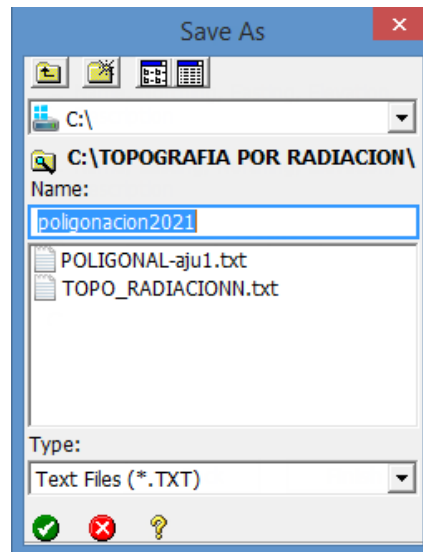
El siguiente paso es elegir el formato de exportación; elegimos el formato N, X, Y, Z, D y damos clic en “Finish”, hay que recalcar que debemos respetar este formato a la hora de importar en nuestro Software (Surfer, Civil 3D, etc), ver Figura 77.



*Figura 77. Formato de exportación.*

*(Fuente: Tesis “Análisis comparativo de modelos digitales de terreno obtenidos con técnicas satelitales GNSS y estación total”, noviembre 2021)*

Finalmente se procede a darle un nombre a nuestro proyecto y lo guardamos en una carpeta específica dentro del colector, el paso final es dar clic en el cheque verde la izquierda inferior para exportar nuestro proyecto, ver Figura 78.



*Figura 78. Nombrar el archivo.*

(Fuente: Tesis “Análisis comparativo de modelos digitales de terreno obtenidos con técnicas satelitales GNSS y estación total”, noviembre 2021)

Para extraer el proyecto exportado dentro del colector, debemos hacer uso de un cable para transferir el archivo a nuestra computadora.

### **3.2.3 Datos obtenidos con estación total**

Los resultados obtenidos se presentarán en tres agrupaciones de datos en función a las coordenadas de los puntos numerados de la siguiente manera: del 1 al 10 para la Poligonal de amarre, del 50 al 87 para el Perímetro del terreno y del 100 en adelante para los puntos de Nivel.

### Resultados obtenidos con estación total para la poligonal base

N. PUNTO	X (m)	Y (m)	Z (m)	DESCRIPCIÓN
1	478262.769	288900.821	699.209	plg1
2	478297.868	288903.425	698.280	plg2
3	478304.080	288991.018	695.874	plg3
4	478372.235	288999.424	694.699	plg4
5	478421.886	288969.730	692.462	plg5
6	478417.043	288911.071	691.864	plg6
7	478392.668	288885.473	698.436	plg7
8	478346.859	288911.041	698.290	plg8
9	478299.060	288899.801	698.278	plg9
10	478262.769	288900.821	699.209	plg10

Tabla 1: Datos de poligonal de amarre obtenidos con estación total.  
(Fuente: Tesis "Análisis comparativo de modelos digitales de terreno obtenidos con técnicas satelitales GNSS y estación total", noviembre 2021).

### Resultados obtenidos con estación total para perímetro del terreno

No PUNTO	X/m)	Y(m)	Z(m)	DESCRIPCIÓN
50	478280.499	288912.194	698.659	lindero
51	478280.553	288916.021	698.837	lindero
52	478280.370	288925.528	697.701	lindero
53	478277.839	288933.559	698.092	lindero
54	478282.329	288939.367	697.832	lindero
55	478282.489	288945.635	694.550	lindero
56	478277.908	288933.560	698.140	lindero
57	478281.962	288967.492	692.947	lindero
58	478286.665	288980.219	692.797	lindero
59	478291.932	288989.760	693.300	lindero
60	478296.598	288996.319	696.277	lindero
61	478300.556	289001.260	695.807	lindero
62	478302.593	289016.726	696.256	lindero
63	478321.123	289015.452	696.034	lindero
64	478338.302	289014.353	696.115	lindero
65	478357.854	289013.379	696.317	lindero
66	478374.100	289011.958	696.277	lindero
67	478385.538	289009.616	695.728	lindero

68	478398.276	289003.669	695.263	lindero
69	478404.436	288999.566	694.995	lindero
70	478412.493	288992.093	694.560	lindero
71	478417.399	288985.890	694.294	lindero
72	478423.249	288975.770	693.891	lindero
73	478426.885	288965.317	693.511	lindero
74	478428.658	288954.537	693.087	lindero
75	478428.205	288942.592	692.475	lindero
76	478425.472	288929.912	692.022	lindero
77	478421.081	288912.403	691.678	lindero
78	478418.720	288909.201	691.837	lindero
79	478407.815	288897.827	692.959	lindero
80	478394.314	288883.728	698.522	lindero
81	478371.046	288902.820	698.287	lindero
82	478355.761	288901.065	698.366	lindero
83	478338.479	288904.013	698.119	lindero
84	478333.021	288906.411	698.122	lindero
85	478316.055	288903.867	698.214	lindero
86	478305.070	288898.808	698.323	lindero
87	478279.740	288891.841	698.404	lindero

Tabla 2: Datos de lindero obtenidos con estación total.

(Fuente: Tesis "Análisis comparativo de modelos digitales de terreno obtenidos con técnicas satelitales GNSS y estación total", noviembre 2021).

### Resultados obtenidos con estación total para puntos de nivel en el terreno

N. PUNTO	X (m)	Y (m)	Z (m)	DESCRIPCIÓN
100	478391.635	288886.676	698.436	niv
101	478390.013	288888.646	698.369	niv
102	478388.480	288890.648	698.316	niv
103	478386.644	288892.617	698.224	niv
104	478385.296	288894.837	697.964	niv
105	478381.228	288896.856	698.114	niv
106	478375.475	288900.878	698.324	niv
107	478378.946	288903.599	698.089	niv
108	478380.976	288901.749	698.002	niv
109	478383.502	288899.396	697.787	niv
110	478385.651	288897.801	697.691	niv

111	478387.500	288896.199	697.607	niv
112	478388.862	288894.456	697.671	niv
113	478393.451	288887.849	697.866	niv
114	478396.503	288886.784	697.202	niv
115	478395.066	288888.837	697.121	niv
116	478393.494	288891.329	697.128	niv
117	478392.113	288893.226	697.142	niv
118	478390.193	288896.291	697.127	niv
119	478388.097	288899.561	697.145	niv
120	478385.460	288901.428	697.486	niv
121	478383.611	288903.899	697.542	niv
122	478380.202	288906.411	697.945	niv
123	478383.135	288908.484	696.459	niv
124	478385.477	288905.504	696.679	niv
125	478387.980	288903.033	696.405	niv
126	478389.953	288901.055	696.160	niv
127	478383.616	288909.592	695.727	niv
128	478388.075	288908.075	694.823	niv
130	478386.262	288913.435	692.511	niv
131	478390.511	288911.122	692.430	niv
132	478393.575	288909.059	692.390	niv
133	478396.191	288905.384	692.602	niv
134	478400.310	288902.178	692.573	niv
135	478390.161	288904.992	695.064	niv
136	478392.619	288902.237	694.884	niv
137	478395.970	288897.892	694.877	niv
140	478402.799	288891.025	694.051	niv
141	478404.710	288895.105	693.443	niv
142	478409.502	288900.832	692.454	niv
143	478406.612	288905.183	692.320	niv
144	478401.135	288908.890	692.203	niv
145	478394.411	288914.026	692.114	niv
146	478384.262	288919.676	692.314	niv
147	478390.634	288935.344	691.787	niv
152	478412.654	288911.050	691.973	niv
153	478421.430	288932.769	691.951	niv

154	478410.165	288938.141	691.910	niv
155	478394.868	288945.002	691.834	niv
156	478399.155	288962.540	692.074	niv
157	478413.610	288960.234	692.254	niv
158	478424.345	288960.618	692.338	niv
159	478419.741	288974.074	692.598	niv
160	478410.093	288974.258	692.613	niv
161	478398.896	288975.739	692.506	niv
162	478398.268	288984.395	693.171	niv
163	478410.360	288979.625	692.916	niv
164	478418.373	288978.379	692.792	niv
166	478410.875	288987.016	693.637	niv
167	478414.669	288984.778	693.400	niv
168	478419.145	288981.040	693.366	niv
172	478420.803	288975.842	692.952	niv
173	478422.981	288971.713	692.723	niv
174	478423.763	288972.134	693.626	niv
175	478422.333	288976.692	693.480	niv
176	478420.365	288979.770	694.184	niv
177	478419.788	288981.519	694.143	niv
178	478418.390	288983.879	694.166	niv
179	478415.849	288986.309	694.309	niv
180	478412.526	288988.544	694.920	niv
181	478413.355	288988.653	694.335	niv
182	478409.867	288990.256	694.983	niv
183	478408.536	288993.203	694.889	niv
184	478409.587	288994.594	694.704	niv
185	478407.058	288992.023	693.520	niv
186	478404.095	288993.169	693.389	niv
187	478406.555	288995.993	694.690	niv
188	478401.795	288999.268	694.628	niv
189	478399.544	288996.962	695.934	niv
190	478392.636	288998.295	695.594	niv
191	478392.824	289003.957	695.691	niv
192	478389.284	288998.008	696.119	niv
193	478386.031	288999.474	695.823	niv

194	478383.245	288998.667	696.018	niv
195	478386.862	289005.209	696.026	niv
196	478384.472	289003.810	695.883	niv
197	478382.267	289008.524	695.938	niv
198	478377.976	289009.525	695.903	niv
199	478373.585	289010.445	696.430	niv
200	478369.335	289011.005	696.059	niv
201	478363.164	289011.702	695.682	niv
202	478368.624	289008.889	695.181	niv
203	478374.613	289008.309	695.025	niv
204	478381.048	289006.858	694.961	niv
205	478381.925	289004.203	694.883	niv
206	478382.139	288997.954	694.092	niv
207	478389.223	288996.369	693.847	niv
208	478397.996	288995.624	693.749	niv
209	478388.336	288987.663	693.366	niv
210	478376.599	288991.324	693.894	niv
211	478362.413	288994.689	694.856	niv
212	478359.148	288980.054	692.241	niv
214	478371.724	288979.623	692.189	niv
215	478378.596	288979.528	692.241	niv
216	478383.971	288978.690	692.181	niv
217	478389.778	288977.617	692.210	niv
218	478395.210	288975.251	692.391	niv
219	478384.245	288983.108	692.994	niv
220	478378.334	288986.014	693.351	niv
221	478372.756	288987.161	693.537	niv
222	478366.223	288987.291	693.663	niv
223	478356.833	288988.723	694.374	niv
227	478379.907	288950.194	691.772	niv
228	478360.614	288953.819	691.830	niv
229	478341.188	288955.922	692.203	niv
232	478308.964	288960.305	692.671	niv
233	478293.868	288962.112	692.963	niv
236	478341.268	288976.122	692.533	niv
237	478348.067	288980.113	692.617	niv

238	478359.091	288938.421	692.303	niv
239	478356.601	288921.048	694.097	niv
240	478388.090	288927.926	691.944	niv
241	478378.095	288931.279	692.058	niv
242	478368.866	288934.051	692.325	niv
243	478362.634	288919.333	693.855	niv
244	478373.003	288918.436	693.297	niv
245	478380.274	288916.089	693.062	niv
246	478347.785	288921.965	694.315	niv
248	478335.713	288922.402	694.549	niv
249	478318.882	288922.191	695.056	niv
251	478318.980	288938.995	692.764	niv
252	478331.799	288941.357	692.242	niv
253	478343.611	288939.305	692.173	niv
255	478353.958	288994.064	695.343	niv
256	478336.250	288993.336	695.553	niv
257	478319.781	288993.722	695.696	niv
258	478302.278	288997.642	695.833	niv
259	478303.176	289013.995	695.837	niv
260	478323.641	289011.819	695.774	niv
261	478337.150	289011.518	696.041	niv
262	478354.628	289010.529	695.960	niv
263	478352.117	288989.948	696.051	niv
264	478356.543	288987.325	695.825	niv
265	478353.409	288985.399	696.099	niv
266	478349.585	288982.670	695.995	niv
267	478344.570	288981.704	696.041	niv
268	478339.495	288980.997	695.822	niv
269	478334.558	288979.904	695.724	niv
270	478324.752	288981.223	695.796	niv
271	478318.294	288980.989	696.117	niv
272	478313.008	288982.819	695.958	niv
273	478301.917	288989.297	695.641	niv
274	478298.665	288993.968	695.967	niv
275	478295.744	288991.847	693.714	niv
276	478299.496	288986.325	693.338	niv

277	478304.699	288983.237	693.371	niv
278	478309.398	288979.507	693.323	niv
279	478315.583	288976.166	693.322	niv
280	478291.333	288974.733	692.815	niv
281	478300.933	288966.985	692.741	niv
282	478288.873	288952.834	693.493	niv
283	478283.589	288944.504	694.670	niv
284	478295.130	288936.835	694.591	niv
285	478298.756	288933.260	694.423	niv
286	478301.061	288945.377	693.463	niv
287	478310.360	288941.724	692.960	niv
288	478300.958	288928.126	694.823	niv
289	478299.292	288923.137	695.373	niv
291	478303.774	288913.520	696.677	niv
292	478306.144	288915.209	696.134	niv
293	478309.829	288916.074	696.257	niv
294	478314.207	288918.029	696.019	niv
295	478309.137	288924.894	694.545	niv
296	478295.614	288926.977	697.606	niv
297	478292.453	288931.640	697.658	niv
298	478289.296	288934.788	697.553	niv
299	478285.948	288936.772	697.713	niv
300	478281.056	288940.017	697.985	niv
301	478274.291	288943.964	698.093	niv
303	478314.366	288916.308	698.697	niv
304	478319.590	288919.258	698.424	niv
305	478325.901	288917.903	697.739	niv
306	478329.669	288919.744	696.569	niv
307	478335.609	288920.671	696.377	niv
308	478339.535	288922.529	696.495	niv
309	478345.380	288919.994	697.370	niv
310	478353.282	288919.232	697.680	niv
311	478358.180	288917.617	696.276	niv
312	478365.844	288915.680	696.724	niv
313	478374.940	288913.934	697.531	niv
314	478378.838	288910.505	697.424	niv

315	478361.350	288907.545	698.448	niv
316	478350.863	288910.673	698.376	niv
317	478340.971	288912.022	698.543	niv
318	478333.995	288913.272	698.445	niv
319	478321.217	288912.488	698.224	niv
320	478328.657	288914.274	698.435	niv
321	478313.760	288911.824	698.075	niv
322	478306.013	288908.911	698.363	niv
323	478302.743	288907.832	698.009	niv
324	478304.499	288911.589	698.185	niv
325	478305.352	288913.506	698.178	niv
326	478302.686	288910.718	697.377	niv
327	478353.363	288983.550	692.866	niv
328	478299.789	288909.240	697.485	niv
329	478293.688	288921.544	697.614	niv
330	478292.253	288919.168	697.667	niv
331	478289.573	288916.773	697.615	niv
332	478288.851	288922.207	697.534	niv
333	478284.382	288927.553	697.666	niv
334	478280.894	288932.686	697.935	niv
335	478282.686	288918.677	697.518	niv
336	478284.067	288912.542	697.493	niv
337	478284.720	288906.562	697.939	niv
338	478284.981	288900.340	698.295	niv
339	478295.285	288897.558	698.468	niv
340	478291.509	288902.857	698.354	niv
341	478293.160	288913.968	696.929	niv
342	478299.676	288904.881	698.294	niv
343	478349.200	288904.604	698.255	niv

Tabla 3: Datos de puntos de nivel obtenidos con estación total.

(Fuente: Tesis "Análisis comparativo de modelos digitales de terreno obtenidos con técnicas satelitales GNSS y estación total", noviembre 2021).

### **3.3 Levantamiento topográfico con técnicas GNSS**

Equipo utilizado:

1. Dos receptores GPS marca Carlson.
2. Colector de datos Marca Carlson con sistema operativo SurvCE.
3. Antena encargada de transmitir y recibir señales de radio entre equipos receptores.
4. Cable de comunicación entre equipo receptor y colector de datos.
5. Soporte para antena.
6. Base nivelante.
7. Acople de rosca para fijar el receptor a la base nivelante.
8. Cinta métrica.
9. Cable de carga del receptor.
10. Batería externa portátil.

#### **3.3.1 Metodología para la recolección de datos con técnicas GNSS**

Para realizar la captura de insumos para generar el modelo digital del terreno utilizando técnicas GNSS, se pretende levantar los puntos que ya habían sido monumentados y que se levantaron con Estación Total anteriormente.

Utilizamos 2 equipos receptores de la marca Carlson, un modelo se usará como base en un punto fijo (FIA1) de coordenadas conocidas, y el otro equipo se va a configurar para que trabaje como un Rover (equipo móvil) para realizar la captura

de los puntos previamente monumentados, este método se le conoce como Método Cinemático en Tiempo Real o (RTK).

### **3.3.2 Guía básica de uso para equipos GNSS utilizando técnica RTK.**

**Paso 1:** Armado del equipo, Base y Rover.

La primera etapa consiste en armar el equipo que se usará de base, en nuestra investigación usamos de referencia un punto de coordenadas conocidas llamado "FIA1" para centrar nuestro equipo base.

El primer paso es colocar la antena al equipo a través de un accesorio especial, ver Figura 79 y 80 respectivamente; el centrado se realiza de la misma manera que una estación total, hay que recalcar, que se debe dejar a una altura adecuada para que tenga una mejor recepción de satélites, si es posible, una altura superior a nuestro rostro; para proyectos de mayor precisión se recomienda utilizar un bastón para darle mayor elevación al equipo; posteriormente se procede a colocar las baterías previamente cargadas al equipo, en nuestro caso, utilizamos una batería externa para darle corriente permanente al equipo, ver Figuras 81 y 82 respectivamente. Para realizar la conexión de la batería externa se debe tener cuidado en la conexión correcta de los polos, debemos guiarnos por el color de cada polo; de igual forma, para conectar el cable que lleva la corriente al equipo, se debe tener mucho cuidado, para este caso, se debe de usar de referencia un punto rojo que tiene el equipo y el cable, donde estos se unen, en esa zona se debe hacer la inserción del cable.

Al conectar la batería externa al equipo, automáticamente nos muestra una luz roja que nos indica que ya está listo para ponerlo en marcha.



*Figura 79. Enroscado de cable de antena a equipo.*

*(Fuente: Tesis “Análisis comparativo de modelos digitales de terreno obtenidos con técnicas satelitales GNSS y estación total”, noviembre 2021)*



*Figura 80. Enroscado de antena a dispositivo.*

*(Fuente: Tesis “Análisis comparativo de modelos digitales de terreno obtenidos con técnicas satelitales GNSS y estación total”, noviembre 2021)*



*Figura 81. Colocado de batería externa al equipo.*

*(Fuente: Tesis “Análisis comparativo de modelos digitales de terreno obtenidos con técnicas satelitales GNSS y estación total”, noviembre 2021)*



*Figura 82. Colocado de cable de alimentación.*

*(Fuente: Tesis “Análisis comparativo de modelos digitales de terreno obtenidos con técnicas satelitales GNSS y estación total”, noviembre 2021)*

Para armar el Rover (Equipo Móvil), se debe utilizar el mismo procedimiento descrito anteriormente para colocar la antena; con la única diferencia, que éste, se deberá instalar sobre un bastón con nivel de burbuja, y su fuente de alimentación se hará a través de las baterías internas del propio equipo, ver Figura 83.

Al equipo, debe dársele una altura adecuada para tener una mejor recepción de satélites, aunque cuando se necesite de mayores precisiones, se recomienda utilizar un trípode para fijar el bastón.



*Figura 83. Rover armado en bastón con burbuja.*

*(Fuente: Tesis “Análisis comparativo de modelos digitales de terreno obtenidos con técnicas satelitales GNSS y estación total”, noviembre 2021)*

**Paso 2:** Configuración del sistema de proyección local.

Ingresamos al software SurvCE del colector y seleccionamos la opción de “Localización”, ver Figura 84.

Luego nos ubicamos en el apartado de “Sistema” y debemos ingresar en la parte de abajo haciendo clic sobre “Editar lista proyecciones”; como estamos utilizando nuestro sistema local, ingresamos el nombre de este tal como se muestra, ver Figura 85.



Figura 84. Ingreso a Localización.

(Fuente: Tesis “Análisis comparativo de modelos digitales de terreno obtenidos con técnicas satelitales GNSS y estación total”, noviembre 2021)



Figura 85. Nombre de proyección.

(Fuente: Tesis “Análisis comparativo de modelos digitales de terreno obtenidos con técnicas satelitales GNSS y estación total”, noviembre 2021)

A continuación, se procede a ingresar todos los parámetros que definen nuestro Sistema de Referencia Local (LAMBERT SIRGAS ESA-2007) y vamos dando aceptar, ver Figura 86.

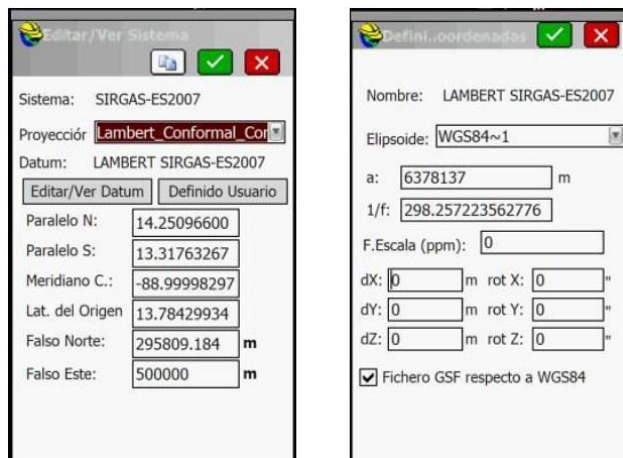


Figura 86. Ingreso de parámetros de Sistema de Referencia Local.

(Fuente: Tesis “Análisis comparativo de modelos digitales de terreno obtenidos con técnicas satelitales GNSS y estación total”, noviembre 2021)

Luego se verifica que todos los parámetros estén correctos y se hace clic sobre el botón verde en la parte derecha superior; al dar clic en aceptar nos aparece creado el sistema de referencia local y procedemos a seleccionarlo, luego damos clic en aceptar en el botón verde superior, ver Figura 87.



Figura 87. Ingresos de parámetros y selección de sistema creado.

(Fuente: Tesis "Análisis comparativo de modelos digitales de terreno obtenidos con técnicas satelitales GNSS y estación total", noviembre 2021)

**Paso 3:** Configuración del equipo Base y Rover para iniciar el levantamiento.

### Configuración del equipo Base

El primer paso es activar el bluetooth en el colector, luego debemos crear un nuevo trabajo haciendo clic en "Trabajo nuevo/Existente", ver Figura 88. Para realizar este paso, ya debemos tener el equipo receptor encendido, para encender los equipos utilizados en esta investigación (Receptores Carlson),

basta con mantener pulsado el botón de encendido por 5 segundos, para el apagado se hace el mismo procedimiento.



Figura 88. Activar Bluetooth y crear nuevo trabajo.

(Fuente: Tesis “Análisis comparativo de modelos digitales de terreno obtenidos con técnicas satelitales GNSS y estación total”, noviembre 2021)

Ingresamos el nombre de nuestro nuevo trabajo (RTK), luego, nos muestra una pantalla en donde debemos elegir el sistema de medida y la proyección a utilizar, hay que recordar que debemos utilizar la proyección creada previamente (LAMBERT SIRGAS ESA-2007), ver Figura 89.

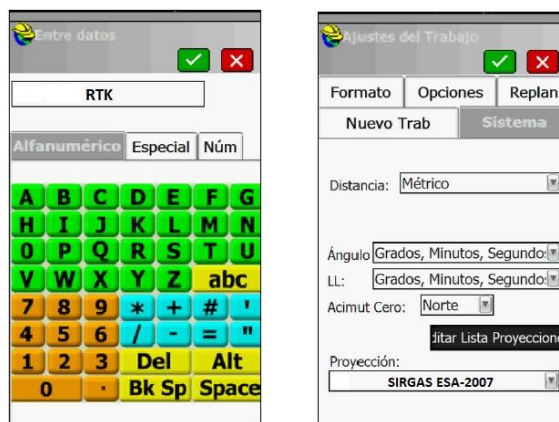


Figura 89. Nombre de proyección y sistema de unidades.

(Fuente: Tesis “Análisis comparativo de modelos digitales de terreno obtenidos con técnicas satelitales GNSS y estación total”, noviembre 2021)

Para empezar a configurar la Base, debemos ingresar al apartado 2 en “Base GNSS”, al hacer clic nos dirige a una pantalla en donde debemos realizar la configuración de todos los parámetros, se elige la marca de nuestro Receptor y el modelo, para nuestro caso (Carlson), ver Figura 90.

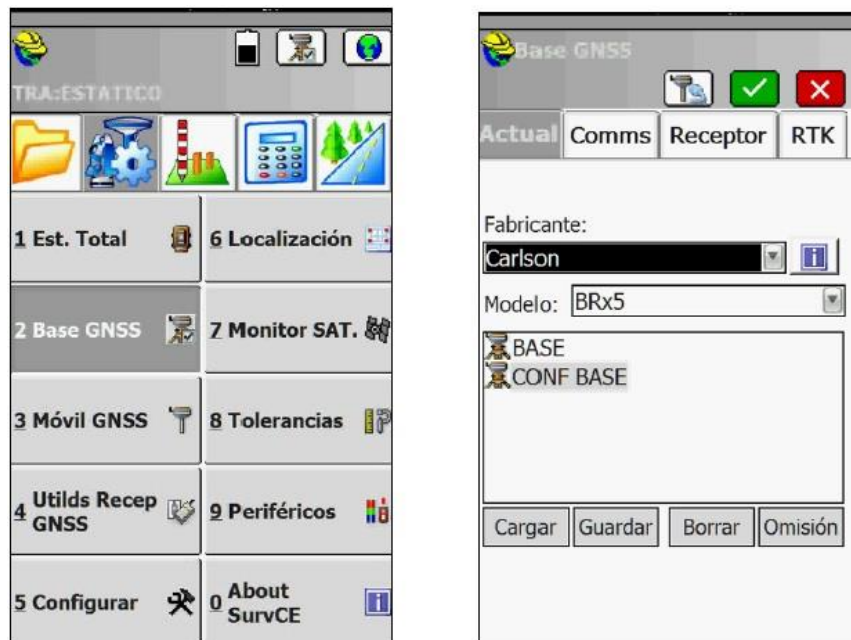


Figura 90. Configuración de Base y selección del tipo de equipo.

(Fuente: Tesis “Análisis comparativo de modelos digitales de terreno obtenidos con técnicas satelitales GNSS y estación total”, noviembre 2021)

A continuación, debemos dar clic en “Comms” en este apartado realizaremos la configuración de la conexión entre el equipo Receptor y el Colector. Como realizaremos una conexión inalámbrica, debemos desplegar en tipo y elegir “Bluetooth”, luego, si no tenemos registrado en nuestro Colector el dispositivo bluetooth del equipo Receptor, debemos dar clic sobre el icono de la llave y el martillo que se encuentra a la derecha del apartado “BT Tipo”; al dar clic sobre

dicho icono, nos dirige a la pantalla en donde debemos realizar la búsqueda del dispositivo bluetooth del equipo Base, ver Figura 91.

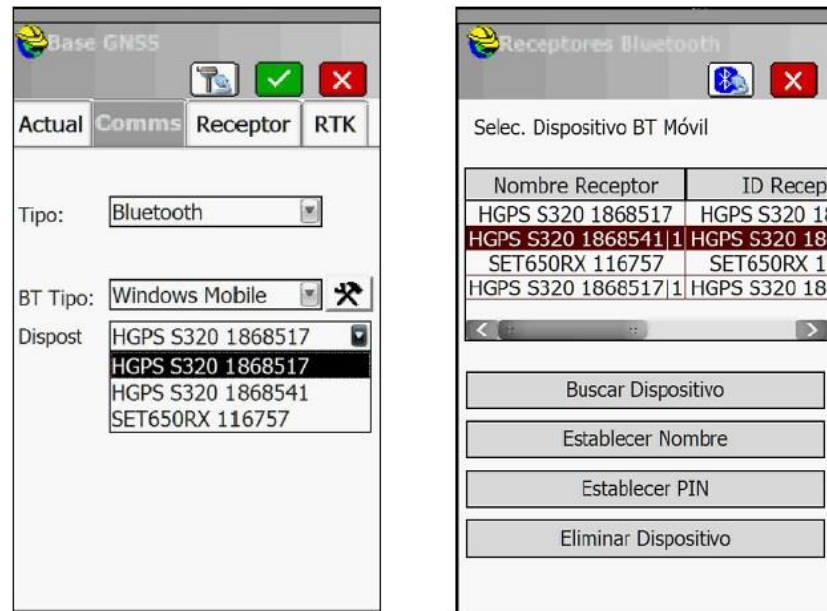


Figura 91. Configuración de la conexión.

(Fuente: Tesis “Análisis comparativo de modelos digitales de terreno obtenidos con técnicas satelitales GNSS y estación total”, noviembre 2021)

Cuándo realizamos la búsqueda del dispositivo en “Buscar Dispositivo”, nos aparecen los dispositivos que detecta el colector (cuándo se realiza la búsqueda, automáticamente el Receptor enciende una luz azul que indica que el bluetooth esta encendido); para reconocer el modelo de nuestro equipo y conectarnos correctamente, debemos verificar en la parte inferior del receptor el número de serie y compararlo con la búsqueda del colector, cuándo estemos seguros, lo seleccionamos y damos en aceptar en el botón verde superior; posteriormente nos envía a la pantalla en donde debemos seleccionar el tipo de puerto, para

nuestro caso seleccionamos “Cualquier puerto” y damos en aceptar en el botón verde, ver Figura 92.



Figura 92. Selección del equipo a conectar y tipo de puerto.

(Fuente: Tesis “Análisis comparativo de modelos digitales de terreno obtenidos con técnicas satelitales GNSS y estación total”, noviembre 2021)

Después de haber realizado el enlace o conexión entre el equipo Receptor y el Colector, debemos ingresar al apartado de “Receptor”, ver Figura 93, en esta pantalla tenemos que ingresar datos como la altura de antena, esta puede ser vertical o inclinada, para nuestro caso elegimos inclinada y esta se mide desde la superficie del punto fijo (FIA1), hasta el borde superior del Receptor, ver Figura 94. Para el caso de la máscara de elevación, esta se deja en 15°; los demás apartados se dejan como se muestra, ver Figura 93. El paso siguiente es ingresar al apartado de “RTK”.

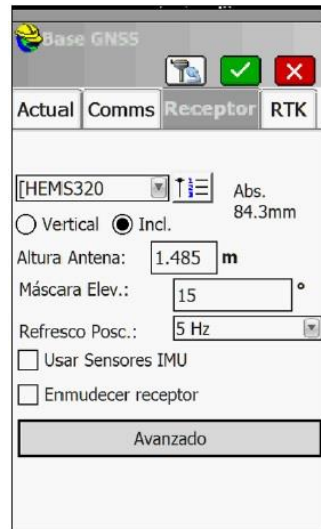


Figura 93. Ingreso de altura de antena y máscara.

(Fuente: Tesis “Análisis comparativo de modelos digitales de terreno obtenidos con técnicas satelitales GNSS y estación total”, noviembre 2021)



Figura 94. Medición de altura de antena.  
(Fuente: Tesis “Análisis comparativo de modelos digitales de terreno obtenidos con técnicas satelitales GNSS y estación total”, noviembre 2021)

En la pestaña “RTK”, se selecciona el tipo de antena a utilizar en la medición y luego damos clic en aceptar. Después de aceptar, nos muestra la pantalla en donde debemos ingresar las coordenadas conocidas de nuestro punto (FIA1), para esto, debemos de ingresar al apartado de “Teclear Lat/Lon”, ver Figura 95.

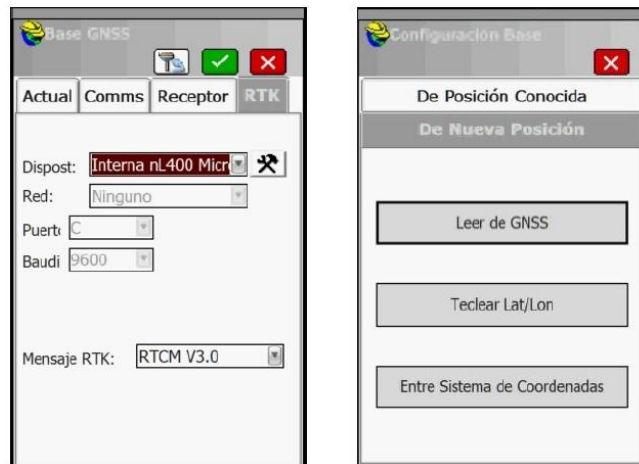


Figura 95. Selección del tipo de antena y tecla de ingreso de coordenadas

(Fuente: Tesis “Análisis comparativo de modelos digitales de terreno obtenidos con técnicas satelitales GNSS y estación total”, noviembre 2021)

Debemos ingresar nuestras coordenadas en el formato geográfico (gg.mm.ss), y la elevación debe ser elipsoidal en unidades de metros, damos en aceptar y nos dirige a la pantalla en donde debemos darle el nombre a nuestro punto fijo y una descripción, agregamos los datos y se nos pregunta si deseamos “continuar con el Arranque de base”, damos clic en “Si”, ver Figura 96.

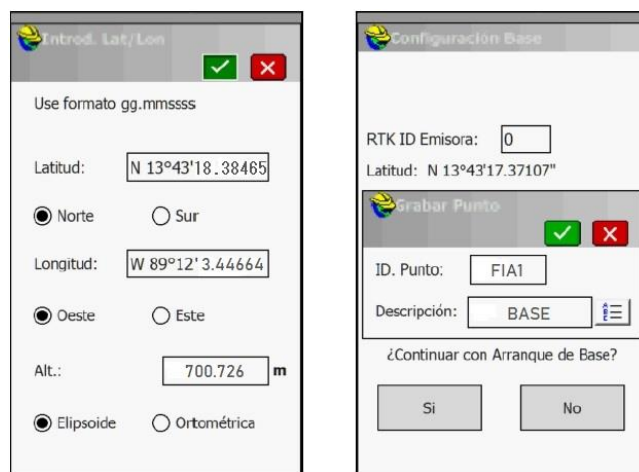


Figura 96. Ingreso de coordenadas de punto fijo, nombre y descripción.

(Fuente: Tesis “Análisis comparativo de modelos digitales de terreno obtenidos con técnicas satelitales GNSS y estación total”, noviembre 2021)

Al dar clic en “Si” el equipo Base queda configurado y listo para trabajar, luego de esta etapa, debemos configurar el Rover para iniciar nuestro levantamiento.

### Configuración del Rover e inicio del levantamiento

Para iniciar la configuración del Rover, debemos ingresar a la sección número 3 “Móvil GNSS”, ver Figura 97.



Figura 97. Ingreso a sección 3 (Rover).

(Fuente: Tesis “Análisis comparativo de modelos digitales de terreno obtenidos con técnicas satelitales GNSS y estación total”, noviembre 2021)

Al ingresar en “Móvil GNSS”, nos muestra la pantalla en donde realizaremos la configuración de la conexión y el ingreso de la altura del aparato como se hizo en la configuración de la Base, con la diferencia, que la altura del Rover debe medirse de forma vertical, desde la punta del bastón, hasta la parte inferior del Receptor (Carlson), ver Figura 98.

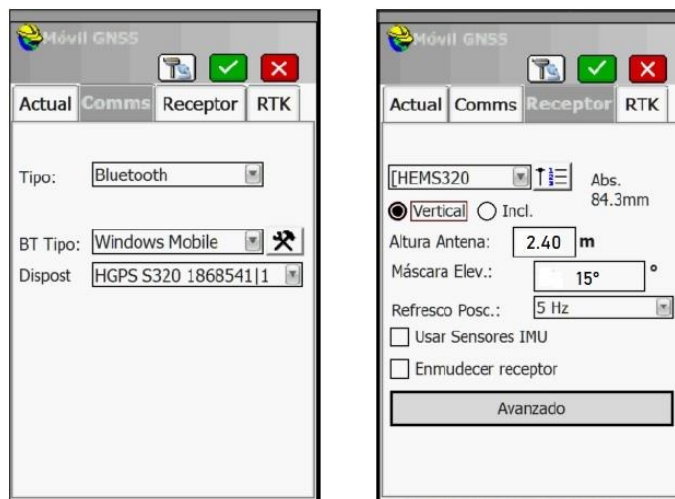


Figura 98. Configuración de conexión del Rover ingreso de altura de equipo y máscara.  
(Fuente: Tesis “Análisis comparativo de modelos digitales de terreno obtenidos con técnicas satelitales GNSS y estación total”, noviembre 2021)

Posteriormente, procedemos a elegir el tipo de antena como se hizo anteriormente en la configuración de la Base y damos en aceptar, ver Figura 99. Para iniciar el levantamiento nos dirigimos al apartado 1 “Levantamiento”.

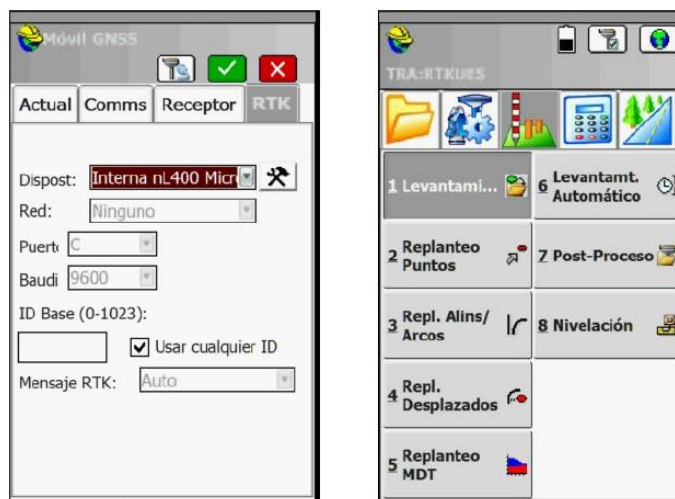


Figura 99. Selección del tipo de antena e inicio de levantamiento.  
(Fuente: Tesis “Análisis comparativo de modelos digitales de terreno obtenidos con técnicas satelitales GNSS y estación total”, noviembre 2021)

Al dar clic en levantamiento, en la pantalla siguiente, se observa la estación de referencia, las coordenadas planas del punto donde se encuentra el Rover y parámetros de precisión vertical y horizontal (Vemc y Hcmc respectivamente), ver Figura 100.

Debemos de tener claro que, para medir un punto, en la esquina superior izquierda debe marcar "Fijo", si no está en fijo, no se puede hacer la captura del punto, si está en fijo, basta con hacer clic sobre el icono superior que se señala con la flecha roja y nos dirige a la pantalla en donde debemos ingresar el nombre de nuestro punto, luego damos en aceptar para almacenar el punto. Este procedimiento de captura y almacenamiento deberá repetirse hasta levantar todos los puntos deseados.

Otro aspecto a tener en cuenta es el rango de "PDOP" permitido, se recomienda que este valor no debe exceder de 6, el "GDOP" depende del "PDOP". Para el caso de la precisión vertical y horizontal "Hcmc" y "Vemc", ambos valores se recomiendan que se mantengan en milímetros a la hora de medir nuestro punto, ver Figura 99.

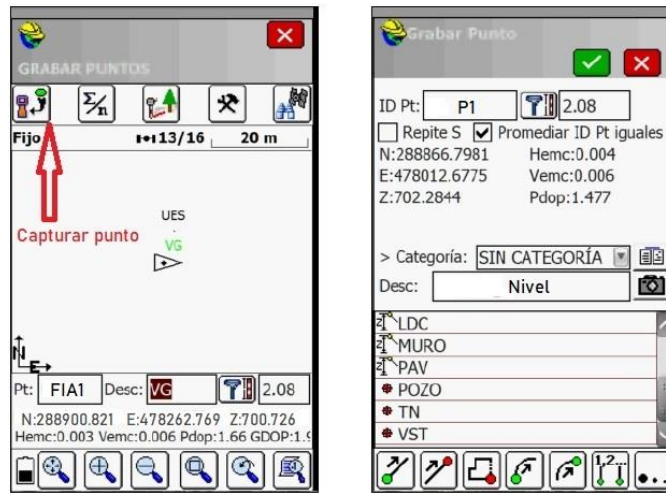


Figura 100. Captura de punto y almacenamiento.

(Fuente: Tesis “Análisis comparativo de modelos digitales de terreno obtenidos con técnicas satelitales GNSS y estación total”, noviembre 2021)

Nota: Cuando no se tenga recepción de satélites, que generalmente es donde hay muchos arboles u otros obstáculos grandes, el Rover enciende una luz roja indicando que no existe CORRECIÓN DIFERENCIAL.

#### Paso 4: Importar los datos.

Para la descarga de datos del levantamiento debe conectarse mediante cable USB a una computadora. Posteriormente seleccionar la opción 7 “Import. Export” del menú principal 1, luego, hacemos clic en la opción “Exportar fich. ASCII”, ver Figura 101.



Figura 101. Sección 7 y exportación de fichero levantado.

(Fuente: Tesis “Análisis comparativo de modelos digitales de terreno obtenidos con técnicas satelitales GNSS y estación total”, noviembre 2021)

En la pantalla siguiente, se debe elegir el tipo de fichero, el separador, el orden en que aparecerán los datos y el rango de puntos a exportar. Finalmente, clic en Aceptar, ver Figura 102.

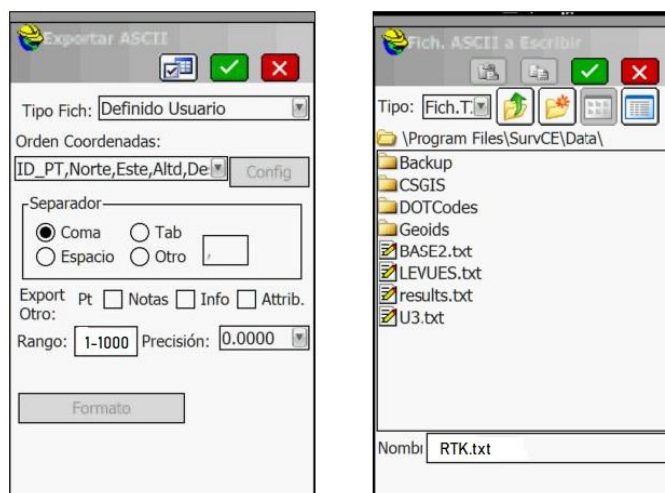


Figura 102. Formato de datos y asignación de nombre a nuestro archivo de exportación.

(Fuente: Tesis “Análisis comparativo de modelos digitales de terreno obtenidos con técnicas satelitales GNSS y estación total”, noviembre 2021)

### 3.4.3 Datos obtenidos con técnica RTK

Los resultados obtenidos se presentarán en tres agrupaciones de datos en función a las coordenadas de los puntos numerados de la siguiente manera: del 1 al 10 para la Poligonal de amarre, del 50 al 87 para el Perímetro del terreno y del 100 en adelante para los puntos de Nivel.

#### Resultados obtenidos con técnica RTK para la Poligonal Base

N. PUNTO	X	Y	Z	DESCRIPCIÓN
1	478262.769	288900.821	699.209	PLG
2	478297.831	288903.407	698.270	PLG
3	478304.104	288991.049	695.891	PLG
4	478372.264	288999.366	694.688	PLG
5	478421.885	288969.638	692.454	PLG
6	478417.021	288910.997	691.872	PLG
7	478392.639	288885.420	698.423	PLG
8	478346.826	288911.040	698.296	PLG
9	478299.030	288899.739	698.293	PLG
10	478262.793	288900.853	699.225	PLG

Tabla 4: Datos de Poligonal de amarre técnica RTK.

(Fuente: Tesis "Análisis comparativo de modelos digitales de terreno obtenidos con técnicas satelitales GNSS y estación total", noviembre 2021)

#### Resultados obtenidos con técnica RTK para perímetro del terreno

50	478280.523	288912.169	698.654	LINDERO
51	478280.562	288916.010	698.827	LINDERO
52	478280.381	288925.536	697.780	LINDERO
53	478277.896	288933.552	698.146	LINDERO
54	478282.346	288939.389	697.896	LINDERO
55	478282.466	288945.587	694.592	LINDERO
56	478277.883	288933.539	698.112	LINDERO
57	478281.936	288967.485	692.915	LINDERO
58	478286.616	288980.215	692.807	LINDERO
59	478291.957	288989.729	693.336	LINDERO
60	478296.616	288996.279	696.248	LINDERO

61	478300.580	289001.292	695.822	LINDERO
62	478302.559	289016.757	696.269	LINDERO
63	478321.049	289015.486	696.047	LINDERO
64	478338.258	289014.364	696.130	LINDERO
65	478357.883	289013.406	696.328	LINDERO
66	478374.124	289011.989	696.286	LINDERO
67	478385.577	289009.649	695.740	LINDERO
68	478398.344	289003.598	695.289	LINDERO
69	478404.464	288999.601	695.010	LINDERO
70	478412.526	288992.134	694.574	LINDERO
71	478417.424	288985.922	694.306	LINDERO
72	478423.292	288975.804	693.902	LINDERO
73	478426.906	288965.252	693.498	LINDERO
74	478428.682	288954.569	693.104	LINDERO
75	478428.198	288942.530	692.471	LINDERO
76	478425.451	288929.848	692.022	LINDERO
77	478421.017	288912.348	691.677	LINDERO
78	478418.641	288909.279	691.827	LINDERO
79	478407.809	288897.787	692.964	LINDERO
80	478394.340	288883.762	698.532	LINDERO
81	478371.069	288902.851	698.300	LINDERO
82	478355.757	288901.088	698.361	LINDERO
83	478338.501	288904.025	698.132	LINDERO
84	478333.041	288906.437	698.139	LINDERO
85	478316.074	288903.894	698.234	LINDERO
86	478305.087	288898.840	698.349	LINDERO
87	478279.730	288891.827	698.392	LINDERO

Tabla 5: Datos de Lindero por medio de técnica RTK.

(Fuente: Tesis "Análisis comparativo de modelos digitales de terreno obtenidos con técnicas satelitales GNSS y estación total", noviembre 2021)

### Resultados obtenidos con técnica RTK para puntos de nivel en el terreno

100	478391.615	288886.633	698.411	NIVEL
101	478389.995	288888.627	698.366	NIVEL
102	478388.444	288890.612	698.307	NIVEL
103	478386.661	288892.657	698.244	NIV
104	478385.312	288894.869	697.979	NIV

105	478381.194	288896.836	698.098	NIVEL
106	478375.552	288900.779	698.317	NIVEL
107	478378.939	288903.562	698.073	NIVEL
108	478380.979	288901.733	697.988	NIVEL
109	478383.516	288899.442	697.812	NIV
110	478385.622	288897.768	697.675	NIVEL
111	478387.544	288896.239	697.625	NIV
112	478388.881	288894.551	697.608	NIVEL
113	478393.452	288887.826	697.871	NIVEL
114	478396.539	288886.816	697.221	NIV
115	478395.052	288888.791	697.131	NIVEL
116	478393.490	288891.313	697.121	NIVEL
117	478392.071	288893.205	697.148	NIVEL
118	478390.195	288896.278	697.147	NIVEL
119	478388.100	288899.538	697.136	NIVEL
120	478385.458	288901.389	697.488	NIVEL
121	478383.643	288903.930	697.561	NIV
122	478380.207	288906.394	697.950	NIVEL
123	478383.130	288908.464	696.457	NIVEL
124	478385.536	288905.447	696.676	NIVEL
125	478387.968	288903.023	696.408	NIVEL
126	478389.901	288901.039	696.168	NIVEL
127	478383.600	288909.555	695.728	NIVEL
128	478388.062	288908.045	694.820	NIVEL
130	478386.253	288913.356	692.499	NIVEL
131	478390.497	288911.103	692.424	NIVEL
132	478393.575	288909.026	692.395	NIVEL
133	478396.217	288905.412	692.630	NIV
134	478400.333	288902.206	692.587	NIV
135	478390.188	288905.030	695.082	NIV
136	478392.652	288902.267	694.899	NIV
137	478396.000	288897.917	694.890	NIV
140	478402.789	288891.007	694.113	NIVEL
141	478404.697	288895.062	693.435	NIVEL
142	478409.458	288900.785	692.457	NIVEL
143	478406.575	288905.179	692.325	NIVEL
144	478401.134	288908.854	692.196	NIVEL

145	478394.408	288913.995	692.117	NIVEL
146	478384.290	288919.652	692.315	NIVEL
147	478390.626	288935.309	691.775	NIVEL
152	478412.597	288911.062	691.974	NIVEL
153	478421.419	288932.721	691.953	NIVEL
154	478410.174	288938.122	691.897	NIVEL
155	478394.866	288944.965	691.820	NIVEL
156	478399.154	288962.470	692.069	NIVEL
157	478413.632	288960.166	692.250	NIVEL
158	478424.359	288960.577	692.327	NIVEL
159	478419.735	288974.021	692.577	NIVEL
160	478410.077	288974.217	692.531	NIVEL
161	478398.910	288975.687	692.565	NIVEL
162	478398.295	288984.426	693.191	NIVEL
163	478410.392	288979.545	692.922	NIVEL
164	478418.406	288978.314	692.784	NIVEL
166	478410.923	288986.933	693.634	NIVEL
167	478414.695	288984.809	693.412	NIVEL
168	478419.146	288980.991	693.389	NIVEL
172	478420.831	288975.861	692.965	NIVEL
173	478423.009	288971.729	692.751	NIV
174	478423.792	288972.159	693.646	NIV
175	478422.357	288976.719	693.506	NIV
176	478420.415	288979.679	694.141	NIVEL
177	478419.819	288981.541	694.158	NIV
178	478418.416	288983.907	694.186	NIV
179	478415.877	288986.341	694.331	NIVEL
180	478412.541	288988.577	694.932	NIV
181	478413.387	288988.686	694.349	NIV
182	478409.899	288990.288	694.998	NIV
183	478408.563	288993.225	694.914	NIV
184	478409.613	288994.620	694.728	NIV
185	478407.091	288992.061	693.530	NIV
186	478404.117	288993.201	693.402	NIV
187	478406.581	288996.045	694.700	NIV
188	478401.859	288999.301	694.640	NIV
189	478399.597	288996.933	696.016	NIVEL

190	478392.690	288998.315	695.613	NIV
191	478392.868	289003.979	695.706	NIV
192	478389.318	288998.026	696.134	NIV
193	478386.077	288999.492	695.833	NIV
194	478383.280	288998.681	696.029	NIV
195	478386.906	289005.240	696.041	NIV
196	478384.465	289003.823	695.903	NIV
197	478382.294	289008.558	695.963	NIV
198	478378.025	289009.553	695.922	NIV
199	478373.627	289010.478	696.446	NIV
200	478369.359	289011.039	696.069	NIV
201	478363.202	289011.740	695.706	NIV
202	478368.679	289008.917	695.204	NIV
203	478374.655	289008.327	695.052	NIV
204	478381.093	289006.869	694.979	NIV
205	478381.948	289004.221	694.895	NIV
206	478382.168	288997.985	694.109	NIV
207	478389.217	288996.340	693.849	NIVEL
208	478397.967	288995.549	693.740	NIVEL
209	478388.353	288987.636	693.398	NIVEL
210	478376.634	288991.342	693.908	NIV
211	478362.466	288994.727	694.866	NIV
212	478359.136	288980.031	692.252	NIVEL
214	478371.750	288979.655	692.206	NIV
215	478378.604	288979.478	692.260	NIVEL
216	478383.995	288978.647	692.158	NIVEL
217	478389.789	288977.558	692.227	NIVEL
218	478395.237	288975.283	692.411	NIV
219	478384.272	288983.141	693.014	NIV
220	478378.363	288986.042	693.375	NIV
221	478372.724	288987.093	693.532	NIVEL
222	478366.228	288987.239	693.658	NIVEL
223	478356.888	288988.755	694.391	NIV
227	478379.868	288950.161	691.771	NIVEL
228	478360.637	288953.801	691.819	NIVEL
229	478341.216	288955.910	692.186	NIVEL
232	478308.992	288960.313	692.650	NIVEL

233	478293.892	288962.126	692.941	NIVEL
236	478341.256	288976.205	692.518	NIVEL
237	478348.091	288980.129	692.635	NIV
238	478359.089	288938.378	692.297	NIVEL
239	478356.633	288921.065	694.115	NIVEL
240	478388.100	288927.903	691.948	NIVEL
241	478378.080	288931.264	692.058	NIVEL
242	478368.871	288934.007	692.327	NIVEL
243	478362.675	288919.352	693.870	NIVEL
244	478373.004	288918.416	693.294	NIVEL
245	478380.235	288916.023	693.042	NIVEL
246	478347.810	288921.997	694.334	NIVEL
248	478335.723	288922.391	694.519	NIVEL
249	478318.908	288922.217	695.072	NIVEL
251	478319.017	288939.027	692.782	NIV
252	478331.823	288941.368	692.239	NIV
253	478343.639	288939.318	692.170	NIVEL
255	478353.983	288994.086	695.357	
256	478336.324	288993.320	695.632	NIVEL
257	478319.841	288993.719	695.670	NIVEL
258	478302.331	288997.652	695.827	NIVEL
259	478303.262	289013.979	695.844	NIVEL
260	478323.673	289011.835	695.800	NIV
261	478337.174	289011.529	696.062	NIV
262	478354.659	289010.547	695.989	NIV
263	478352.147	288989.967	696.073	NIV
264	478356.572	288987.340	695.840	NIV
265	478353.433	288985.413	696.112	NIV
266	478349.623	288982.662	695.898	NIVEL
267	478344.639	288981.657	696.027	NIVEL
268	478339.521	288981.026	695.839	NIVEL
269	478334.582	288979.932	695.740	NIV
270	478324.777	288981.241	695.812	NIV
271	478318.318	288981.020	696.129	NIV
272	478313.033	288982.847	695.976	NIV
273	478301.943	288989.332	695.657	NIV
274	478298.707	288993.994	695.977	NIV

275	478295.790	288991.809	693.677	NIVEL
276	478299.555	288986.276	693.308	NIVEL
277	478304.753	288983.191	693.365	NIVEL
278	478309.442	288979.463	693.329	NIVEL
279	478315.628	288976.196	693.333	NIV
280	478291.380	288974.754	692.839	NIV
281	478300.958	288967.006	692.777	NIV
282	478288.910	288952.822	693.488	NIVEL
283	478283.609	288944.509	694.660	NIVEL
284	478295.159	288936.826	694.581	NIVEL
285	478298.774	288933.257	694.397	NIVEL
286	478301.074	288945.377	693.464	NIVEL
287	478310.385	288941.742	692.983	NIV
288	478300.982	288928.123	694.807	NIVEL
289	478299.291	288923.122	695.351	NIVEL
291	478303.756	288913.535	696.639	NIVEL
292	478306.159	288915.212	696.154	NIV
293	478309.844	288916.080	696.276	NIV
294	478314.231	288918.061	696.036	NIV
295	478309.151	288924.898	694.541	NIVEL
296	478295.587	288927.003	697.563	NIVEL
297	478292.483	288931.648	697.674	NIVEL
298	478289.313	288934.798	697.568	NIVEL
299	478285.987	288936.835	697.714	NIVEL
300	478281.100	288940.052	697.936	NIVEL
301	478274.319	288943.992	698.113	NIV
303	478314.390	288916.326	698.712	NIV
304	478319.616	288919.271	698.436	NIV
305	478325.931	288917.935	697.753	NIV
306	478329.697	288919.778	696.583	NIV
307	478335.641	288920.696	696.385	NIV
308	478339.554	288922.553	696.523	NIV
309	478345.402	288920.008	697.387	NIV
310	478353.307	288919.249	697.710	NIV
311	478358.209	288917.635	696.284	NIV
312	478365.874	288915.695	696.741	NIV
313	478374.962	288913.946	697.550	NIV

314	478378.883	288910.515	697.444	NIV
315	478361.379	288907.577	698.468	NIV
316	478350.875	288910.657	698.395	NIVEL
317	478340.976	288912.013	698.548	NIVEL
318	478333.967	288913.287	698.489	NIVEL
319	478321.237	288912.520	698.240	NIV
320	478328.667	288914.274	698.377	NIVEL
321	478313.782	288911.844	698.095	NIV
322	478306.037	288908.945	698.386	NIV
323	478302.704	288907.800	697.962	NIVEL
324	478304.530	288911.615	698.204	NIVEL
325	478305.369	288913.450	698.111	NIVEL
326	478302.657	288910.750	697.398	NIVEL
327	478353.387	288983.573	692.881	NIV
328	478299.775	288909.241	697.497	NIVEL
329	478293.746	288921.555	697.610	NIVEL
330	478292.237	288919.172	697.683	NIVEL
331	478289.539	288916.755	697.642	NIVEL
332	478288.840	288922.237	697.540	NIVEL
333	478284.408	288927.548	697.688	NIVEL
334	478280.862	288932.686	697.943	NIVEL
335	478282.698	288918.658	697.537	NIVEL
336	478284.051	288912.538	697.512	NIVEL
337	478284.702	288906.538	697.973	NIVEL
338	478284.970	288900.329	698.310	NIVEL
339	478295.284	288897.542	698.467	NIVEL
340	478291.509	288902.856	698.364	NIVEL
341	478293.165	288913.970	696.944	NIVEL
342	478299.662	288904.882	698.305	NIVEL
343	478349.171	288904.629	698.237	NIVEL

*Tabla 6: Datos de nivel por medio de técnica RTK.*

*(Fuente: Tesis "Análisis comparativo de modelos digitales de terreno obtenidos con técnicas satelitales GNSS y estación total", noviembre 2021).*

### 3.4 Tabla comparativa de coordenadas de levantamiento con estación total y con GPS

Tabla comparativa para la poligonal base

N. PUNTO	DESCRIPCIÓN	Datos con estación total			Datos con técnica RTK			Diferencia		
		X (m)	Y (m)	Z (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)
1	plg1	478262.769	288900.821	699.209	478262.769	288900.821	699.209	0.000	0.000	0.000
2	plg2	478297.868	288903.425	698.28	478297.831	288903.407	698.27	-0.037	-0.018	-0.010
3	plg3	478304.08	288991.018	695.874	478304.104	288991.049	695.891	0.024	0.031	0.017
4	plg4	478372.235	288999.424	694.699	478372.264	288999.366	694.688	0.029	-0.058	-0.011
5	plg5	478421.886	288969.73	692.462	478421.885	288969.638	692.454	-0.001	-0.092	-0.008
6	plg6	478417.043	288911.071	691.864	478417.021	288910.997	691.872	-0.022	-0.074	0.008
7	plg7	478392.668	288885.473	698.436	478392.639	288885.42	698.423	-0.029	-0.053	-0.013
8	plg8	478346.859	288911.041	698.29	478346.826	288911.04	698.296	-0.033	-0.001	0.006
9	plg9	478299.06	288899.801	698.278	478299.03	288899.739	698.293	-0.030	-0.062	0.015
10	plg10	478262.769	288900.821	699.209	478262.793	288900.853	699.225	0.024	0.032	0.016

Tabla 7: Datos comparativos para la poligonal base.

(Fuente: Tesis "Análisis comparativo de modelos digitales de terreno obtenidos con técnicas satelitales GNSS y estación total", noviembre 2021).

Tabla comparativa para perímetro del terreno

No PUNTO	DESCRIPCIÓN	Datos con estación total			Datos con técnica RTK			Diferencia		
		X (m)	Y (m)	Z (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)
50	LINDERO	478280.499	288912.194	698.659	478280.52	288912.17	698.654	0.024	-0.025	-0.005
51	LINDERO	478280.553	288916.021	698.837	478280.56	288916.01	698.827	0.009	-0.011	-0.010
52	LINDERO	478280.37	288925.528	697.701	478280.38	288925.54	697.78	0.011	0.008	0.079
53	LINDERO	478277.839	288933.559	698.092	478277.9	288933.55	698.146	0.057	-0.007	0.054
54	LINDERO	478282.329	288939.367	697.832	478282.35	288939.39	697.896	0.017	0.022	0.064
55	LINDERO	478282.489	288945.635	694.55	478282.47	288945.59	694.592	-0.023	-0.048	0.042

56	LINDERO	478277.908	288933.56	698.14	478277.88	288933.54	698.112	-0.025	-0.021	-0.028
57	LINDERO	478281.962	288967.492	692.947	478281.94	288967.49	692.915	-0.026	-0.007	-0.032
58	LINDERO	478286.665	288980.219	692.797	478286.62	288980.22	692.807	-0.049	-0.004	0.010
59	LINDERO	478291.932	288989.76	693.3	478291.96	288989.73	693.336	0.025	-0.031	0.036
60	LINDERO	478296.598	288996.319	696.277	478296.62	288996.28	696.248	0.018	-0.040	-0.029
61	LINDERO	478300.556	289001.26	695.807	478300.58	289001.29	695.822	0.024	0.032	0.015
62	LINDERO	478302.593	289016.726	696.256	478302.56	289016.76	696.269	-0.034	0.031	0.013
63	LINDERO	478321.123	289015.452	696.034	478321.05	289015.49	696.047	-0.074	0.034	0.013
64	LINDERO	478338.302	289014.353	696.115	478338.26	289014.36	696.13	-0.044	0.011	0.015
65	LINDERO	478357.854	289013.379	696.317	478357.88	289013.41	696.328	0.029	0.027	0.011
66	LINDERO	478374.1	289011.958	696.277	478374.12	289011.99	696.286	0.024	0.031	0.009
67	LINDERO	478385.538	289009.616	695.728	478385.58	289009.65	695.74	0.039	0.033	0.012
68	LINDERO	478398.276	289003.669	695.263	478398.34	289003.6	695.289	0.068	-0.071	0.026
69	LINDERO	478404.436	288999.566	694.995	478404.46	288999.6	695.01	0.028	0.035	0.015
70	LINDERO	478412.493	288992.093	694.56	478412.53	288992.13	694.574	0.033	0.041	0.014
71	LINDERO	478417.399	288985.89	694.294	478417.42	288985.92	694.306	0.025	0.032	0.012
72	LINDERO	478423.249	288975.77	693.891	478423.29	288975.8	693.902	0.043	0.034	0.011
73	LINDERO	478426.885	288965.317	693.511	478426.91	288965.25	693.498	0.021	-0.065	-0.013
74	LINDERO	478428.658	288954.537	693.087	478428.68	288954.57	693.104	0.024	0.032	0.017
75	LINDERO	478428.205	288942.592	692.475	478428.2	288942.53	692.471	-0.007	-0.062	-0.004
76	LINDERO	478425.472	288929.912	692.022	478425.45	288929.85	692.022	-0.021	-0.064	0.000
77	LINDERO	478421.081	288912.403	691.678	478421.02	288912.35	691.677	-0.064	-0.055	-0.001
78	LINDERO	478418.72	288909.201	691.837	478418.64	288909.28	691.827	-0.079	0.078	-0.010
79	LINDERO	478407.815	288897.827	692.959	478407.81	288897.79	692.964	-0.006	-0.040	0.005
80	LINDERO	478394.314	288883.728	698.522	478394.34	288883.76	698.532	0.026	0.034	0.010
81	LINDERO	478371.046	288902.82	698.287	478371.07	288902.85	698.3	0.023	0.031	0.013

82	LINDERO	478355.761	288901.065	698.366	478355.76	288901.09	698.361	-0.004	0.023	-0.005
83	LINDERO	478338.479	288904.013	698.119	478338.5	288904.03	698.132	0.022	0.012	0.013
84	LINDERO	478333.021	288906.411	698.122	478333.04	288906.44	698.139	0.020	0.026	0.017
85	LINDERO	478316.055	288903.867	698.214	478316.07	288903.89	698.234	0.019	0.027	0.020
86	LINDERO	478305.07	288898.808	698.323	478305.09	288898.84	698.349	0.017	0.032	0.026
87	LINDERO	478279.74	288891.841	698.404	478279.73	288891.83	698.392	-0.010	-0.014	-0.012

Tabla 8: Datos comparativos para perímetro del terreno.

(Fuente: Tesis “Análisis comparativo de modelos digitales de terreno obtenidos con técnicas satelitales GNSS y estación total”, noviembre 2021).

Tabla comparativa para puntos de nivel en el terreno

No PUNTO	DESCRIPCIÓN	Datos con estación total			Datos con técnica RTK			Diferencia		
		X (m)	Y (m)	Z (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)
100	niv	478391.635	288886.676	698.436	478391.615	288886.633	698.411	-0.020	-0.043	-0.025
101	niv	478390.013	288888.646	698.369	478389.995	288888.627	698.366	-0.018	-0.019	-0.003
102	niv	478388.48	288890.648	698.316	478388.444	288890.612	698.307	-0.036	-0.036	-0.009
103	niv	478386.644	288892.617	698.224	478386.661	288892.657	698.244	0.017	0.040	0.020
104	niv	478385.296	288894.837	697.964	478385.312	288894.869	697.979	0.016	0.032	0.015
105	niv	478381.228	288896.856	698.114	478381.194	288896.836	698.098	-0.034	-0.020	-0.016
106	niv	478375.475	288900.878	698.324	478375.552	288900.779	698.317	0.077	-0.099	-0.007
107	niv	478378.946	288903.599	698.089	478378.939	288903.562	698.073	-0.007	-0.037	-0.016
108	niv	478380.976	288901.749	698.002	478380.979	288901.733	697.988	0.003	-0.016	-0.014
109	niv	478383.502	288899.396	697.787	478383.516	288899.442	697.812	0.014	0.046	0.025
110	niv	478385.651	288897.801	697.691	478385.622	288897.768	697.675	-0.029	-0.033	-0.016
111	niv	478387.5	288896.199	697.607	478387.544	288896.239	697.625	0.044	0.040	0.018
112	niv	478388.862	288894.456	697.671	478388.881	288894.551	697.608	0.019	0.095	-0.063
113	niv	478393.451	288887.849	697.866	478393.452	288887.826	697.871	0.001	-0.023	0.005
114	niv	478396.503	288886.784	697.202	478396.539	288886.816	697.221	0.036	0.032	0.019

115	niv	478395.066	288888.837	697.121	478395.052	288888.791	697.131	-0.014	-0.046	0.010
116	niv	478393.494	288891.329	697.128	478393.49	288891.313	697.121	-0.004	-0.016	-0.007
117	niv	478392.113	288893.226	697.142	478392.071	288893.205	697.148	-0.042	-0.021	0.006
118	niv	478390.193	288896.291	697.127	478390.195	288896.278	697.147	0.002	-0.013	0.020
119	niv	478388.097	288899.561	697.145	478388.1	288899.538	697.136	0.003	-0.023	-0.009
120	niv	478385.46	288901.428	697.486	478385.458	288901.389	697.488	-0.002	-0.039	0.002
121	niv	478383.611	288903.899	697.542	478383.643	288903.93	697.561	0.032	0.031	0.019
122	niv	478380.202	288906.411	697.945	478380.207	288906.394	697.95	0.005	-0.017	0.005
123	niv	478383.135	288908.484	696.459	478383.13	288908.464	696.457	-0.005	-0.020	-0.002
124	niv	478385.477	288905.504	696.679	478385.536	288905.447	696.676	0.059	-0.057	-0.003
125	niv	478387.98	288903.033	696.405	478387.968	288903.023	696.408	-0.012	-0.010	0.003
126	niv	478389.953	288901.055	696.16	478389.901	288901.039	696.168	-0.052	-0.016	0.008
127	niv	478383.616	288909.592	695.727	478383.6	288909.555	695.728	-0.016	-0.037	0.001
128	niv	478388.075	288908.075	694.823	478388.062	288908.045	694.82	-0.013	-0.030	-0.003
130	niv	478386.262	288913.435	692.511	478386.253	288913.356	692.499	-0.009	-0.079	-0.012
131	niv	478390.511	288911.122	692.43	478390.497	288911.103	692.424	-0.014	-0.019	-0.006
132	niv	478393.575	288909.059	692.39	478393.575	288909.026	692.395	0.000	-0.033	0.005
133	niv	478396.191	288905.384	692.602	478396.217	288905.412	692.63	0.026	0.028	0.028
134	niv	478400.31	288902.178	692.573	478400.333	288902.206	692.587	0.023	0.028	0.014
135	niv	478390.161	288904.992	695.064	478390.188	288905.03	695.082	0.027	0.038	0.018
136	niv	478392.619	288902.237	694.884	478392.652	288902.267	694.899	0.033	0.030	0.015
137	niv	478395.97	288897.892	694.877	478396	288897.917	694.89	0.030	0.025	0.013
140	niv	478402.799	288891.025	694.051	478402.789	288891.007	694.113	-0.010	-0.018	0.062
141	niv	478404.71	288895.105	693.443	478404.697	288895.062	693.435	-0.013	-0.043	-0.008
142	niv	478409.502	288900.832	692.454	478409.458	288900.785	692.457	-0.044	-0.047	0.003
143	niv	478406.612	288905.183	692.32	478406.575	288905.179	692.325	-0.037	-0.004	0.005

144	niv	478401.135	288908.89	692.203	478401.134	288908.854	692.196	-0.001	-0.036	-0.007
145	niv	478394.411	288914.026	692.114	478394.408	288913.995	692.117	-0.003	-0.031	0.003
146	niv	478384.262	288919.676	692.314	478384.29	288919.652	692.315	0.028	-0.024	0.001
147	niv	478390.634	288935.344	691.787	478390.626	288935.309	691.775	-0.008	-0.035	-0.012
152	niv	478412.654	288911.05	691.973	478412.597	288911.062	691.974	-0.057	0.012	0.001
153	niv	478421.43	288932.769	691.951	478421.419	288932.721	691.953	-0.011	-0.048	0.002
154	niv	478410.165	288938.141	691.91	478410.174	288938.122	691.897	0.009	-0.019	-0.013
155	niv	478394.868	288945.002	691.834	478394.866	288944.965	691.82	-0.002	-0.037	-0.014
156	niv	478399.155	288962.54	692.074	478399.154	288962.47	692.069	-0.001	-0.070	-0.005
157	niv	478413.61	288960.234	692.254	478413.632	288960.166	692.25	0.022	-0.068	-0.004
158	niv	478424.345	288960.618	692.338	478424.359	288960.577	692.327	0.014	-0.041	-0.011
159	niv	478419.741	288974.074	692.598	478419.735	288974.021	692.577	-0.006	-0.053	-0.021
160	niv	478410.093	288974.258	692.613	478410.077	288974.217	692.531	-0.016	-0.041	-0.082
161	niv	478398.896	288975.739	692.506	478398.91	288975.687	692.565	0.014	-0.052	0.059
162	niv	478398.268	288984.395	693.171	478398.295	288984.426	693.191	0.027	0.031	0.020
163	niv	478410.36	288979.625	692.916	478410.392	288979.545	692.922	0.032	-0.080	0.006
164	niv	478418.373	288978.379	692.792	478418.406	288978.314	692.784	0.033	-0.065	-0.008
166	niv	478410.875	288987.016	693.637	478410.923	288986.933	693.634	0.048	-0.083	-0.003
167	niv	478414.669	288984.778	693.4	478414.695	288984.809	693.412	0.026	0.031	0.012
168	niv	478419.145	288981.04	693.366	478419.146	288980.991	693.389	0.001	-0.049	0.023
172	niv	478420.803	288975.842	692.952	478420.831	288975.861	692.965	0.028	0.019	0.013
173	niv	478422.981	288971.713	692.723	478423.009	288971.729	692.751	0.028	0.016	0.028
174	niv	478423.763	288972.134	693.626	478423.792	288972.159	693.646	0.029	0.025	0.020
175	niv	478422.333	288976.692	693.48	478422.357	288976.719	693.506	0.024	0.027	0.026
176	niv	478420.365	288979.77	694.184	478420.415	288979.679	694.141	0.050	-0.091	-0.043
177	niv	478419.788	288981.519	694.143	478419.819	288981.541	694.158	0.031	0.022	0.015

178	niv	478418.39	288983.879	694.166	478418.416	288983.907	694.186	0.026	0.028	0.020
179	niv	478415.849	288986.309	694.309	478415.877	288986.341	694.331	0.028	0.032	0.022
180	niv	478412.526	288988.544	694.92	478412.541	288988.577	694.932	0.015	0.033	0.012
181	niv	478413.355	288988.653	694.335	478413.387	288988.686	694.349	0.032	0.033	0.014
182	niv	478409.867	288990.256	694.983	478409.899	288990.288	694.998	0.032	0.032	0.015
183	niv	478408.536	288993.203	694.889	478408.563	288993.225	694.914	0.027	0.022	0.025
184	niv	478409.587	288994.594	694.704	478409.613	288994.62	694.728	0.026	0.026	0.024
185	niv	478407.058	288992.023	693.52	478407.091	288992.061	693.53	0.033	0.038	0.010
186	niv	478404.095	288993.169	693.389	478404.117	288993.201	693.402	0.022	0.032	0.013
187	niv	478406.555	288995.993	694.69	478406.581	288996.045	694.7	0.026	0.052	0.010
188	niv	478401.795	288999.268	694.628	478401.859	288999.301	694.64	0.064	0.033	0.012
189	niv	478399.544	288996.962	695.934	478399.597	288996.933	696.016	0.053	-0.029	0.082
190	niv	478392.636	288998.295	695.594	478392.69	288998.315	695.613	0.054	0.020	0.019
191	niv	478392.824	289003.957	695.691	478392.868	289003.979	695.706	0.044	0.022	0.015
192	niv	478389.284	288998.008	696.119	478389.318	288998.026	696.134	0.034	0.018	0.015
193	niv	478386.031	288999.474	695.823	478386.077	288999.492	695.833	0.046	0.018	0.010
194	niv	478383.245	288998.667	696.018	478383.28	288998.681	696.029	0.035	0.014	0.011
195	niv	478386.862	289005.209	696.026	478386.906	289005.24	696.041	0.044	0.031	0.015
196	niv	478384.472	289003.81	695.883	478384.465	289003.823	695.903	-0.007	0.013	0.020
197	niv	478382.267	289008.524	695.938	478382.294	289008.558	695.963	0.027	0.034	0.025
198	niv	478377.976	289009.525	695.903	478378.025	289009.553	695.922	0.049	0.028	0.019
199	niv	478373.585	289010.445	696.43	478373.627	289010.478	696.446	0.042	0.033	0.016
200	niv	478369.335	289011.005	696.059	478369.359	289011.039	696.069	0.024	0.034	0.010
201	niv	478363.164	289011.702	695.682	478363.202	289011.74	695.706	0.038	0.038	0.024
202	niv	478368.624	289008.889	695.181	478368.679	289008.917	695.204	0.055	0.028	0.023
203	niv	478374.613	289008.309	695.025	478374.655	289008.327	695.052	0.042	0.018	0.027

204	niv	478381.048	289006.858	694.961	478381.093	289006.869	694.979	0.045	0.011	0.018
205	niv	478381.925	289004.203	694.883	478381.948	289004.221	694.895	0.023	0.018	0.012
206	niv	478382.139	288997.954	694.092	478382.168	288997.985	694.109	0.029	0.031	0.017
207	niv	478389.223	288996.369	693.847	478389.217	288996.34	693.849	-0.006	-0.029	0.002
208	niv	478397.996	288995.624	693.749	478397.967	288995.549	693.74	-0.029	-0.075	-0.009
209	niv	478388.336	288987.663	693.366	478388.353	288987.636	693.398	0.017	-0.027	0.032
210	niv	478376.599	288991.324	693.894	478376.634	288991.342	693.908	0.035	0.018	0.014
211	niv	478362.413	288994.689	694.856	478362.466	288994.727	694.866	0.053	0.038	0.010
212	niv	478359.148	288980.054	692.241	478359.136	288980.031	692.252	-0.012	-0.023	0.011
214	niv	478371.724	288979.623	692.189	478371.75	288979.655	692.206	0.026	0.032	0.017
215	niv	478378.596	288979.528	692.241	478378.604	288979.478	692.26	0.008	-0.050	0.019
216	niv	478383.971	288978.69	692.181	478383.995	288978.647	692.158	0.024	-0.043	-0.023
217	niv	478389.778	288977.617	692.21	478389.789	288977.558	692.227	0.011	-0.059	0.017
218	niv	478395.21	288975.251	692.391	478395.237	288975.283	692.411	0.027	0.032	0.020
219	niv	478384.245	288983.108	692.994	478384.272	288983.141	693.014	0.027	0.033	0.020
220	niv	478378.334	288986.014	693.351	478378.363	288986.042	693.375	0.029	0.028	0.024
221	niv	478372.756	288987.161	693.537	478372.724	288987.093	693.532	-0.032	-0.068	-0.005
222	niv	478366.223	288987.291	693.663	478366.228	288987.239	693.658	0.005	-0.052	-0.005
223	niv	478356.833	288988.723	694.374	478356.888	288988.755	694.391	0.055	0.032	0.017
227	niv	478379.907	288950.194	691.772	478379.868	288950.161	691.771	-0.039	-0.033	-0.001
228	niv	478360.614	288953.819	691.83	478360.637	288953.801	691.819	0.023	-0.018	-0.011
229	niv	478341.188	288955.922	692.203	478341.216	288955.91	692.186	0.028	-0.012	-0.017
232	niv	478308.964	288960.305	692.671	478308.992	288960.313	692.65	0.028	0.008	-0.021
233	niv	478293.868	288962.112	692.963	478293.892	288962.126	692.941	0.024	0.014	-0.022
236	niv	478341.268	288976.122	692.533	478341.256	288976.205	692.518	-0.012	0.083	-0.015
237	niv	478348.067	288980.113	692.617	478348.091	288980.129	692.635	0.024	0.016	0.018

238	niv	478359.091	288938.421	692.303	478359.089	288938.378	692.297	-0.002	-0.043	-0.006
239	niv	478356.601	288921.048	694.097	478356.633	288921.065	694.115	0.032	0.017	0.018
240	niv	478388.09	288927.926	691.944	478388.1	288927.903	691.948	0.010	-0.023	0.004
241	niv	478378.095	288931.279	692.058	478378.08	288931.264	692.058	-0.015	-0.015	0.000
242	niv	478368.866	288934.051	692.325	478368.871	288934.007	692.327	0.005	-0.044	0.002
243	niv	478362.634	288919.333	693.855	478362.675	288919.352	693.87	0.041	0.019	0.015
244	niv	478373.003	288918.436	693.297	478373.004	288918.416	693.294	0.001	-0.020	-0.003
245	niv	478380.274	288916.089	693.062	478380.235	288916.023	693.042	-0.039	-0.066	-0.020
246	niv	478347.785	288921.965	694.315	478347.81	288921.997	694.334	0.025	0.032	0.019
248	niv	478335.713	288922.402	694.549	478335.723	288922.391	694.519	0.010	-0.011	-0.030
249	niv	478318.882	288922.191	695.056	478318.908	288922.217	695.072	0.026	0.026	0.016
251	niv	478318.98	288938.995	692.764	478319.017	288939.027	692.782	0.037	0.032	0.018
252	niv	478331.799	288941.357	692.242	478331.823	288941.368	692.239	0.024	0.011	-0.003
253	niv	478343.611	288939.305	692.173	478343.639	288939.318	692.17	0.028	0.013	-0.003
255	niv	478353.958	288994.064	695.343	478353.983	288994.086	695.357	0.025	0.022	0.014
256	niv	478336.25	288993.336	695.553	478336.324	288993.32	695.632	0.074	-0.016	0.079
257	niv	478319.781	288993.722	695.696	478319.841	288993.719	695.67	0.060	-0.003	-0.026
258	niv	478302.278	288997.642	695.833	478302.331	288997.652	695.827	0.053	0.010	-0.006
259	niv	478303.176	289013.995	695.837	478303.262	289013.979	695.844	0.086	-0.016	0.007
260	niv	478323.641	289011.819	695.774	478323.673	289011.835	695.8	0.032	0.016	0.026
261	niv	478337.15	289011.518	696.041	478337.174	289011.529	696.062	0.024	0.011	0.021
262	niv	478354.628	289010.529	695.96	478354.659	289010.547	695.989	0.031	0.018	0.029
263	niv	478352.117	288989.948	696.051	478352.147	288989.967	696.073	0.030	0.019	0.022
264	niv	478356.543	288987.325	695.825	478356.572	288987.34	695.84	0.029	0.015	0.015
265	niv	478353.409	288985.399	696.099	478353.433	288985.413	696.112	0.024	0.014	0.013
266	niv	478349.585	288982.67	695.995	478349.623	288982.662	695.898	0.038	-0.008	-0.097

267	niv	478344.57	288981.704	696.041	478344.639	288981.657	696.027	0.069	-0.047	-0.014
268	niv	478339.495	288980.997	695.822	478339.521	288981.026	695.839	0.026	0.029	0.017
269	niv	478334.558	288979.904	695.724	478334.582	288979.932	695.74	0.024	0.028	0.016
270	niv	478324.752	288981.223	695.796	478324.777	288981.241	695.812	0.025	0.018	0.016
271	niv	478318.294	288980.989	696.117	478318.318	288981.02	696.129	0.024	0.031	0.012
272	niv	478313.008	288982.819	695.958	478313.033	288982.847	695.976	0.025	0.028	0.018
273	niv	478301.917	288989.297	695.641	478301.943	288989.332	695.657	0.026	0.035	0.016
274	niv	478298.665	288993.968	695.967	478298.707	288993.994	695.977	0.042	0.026	0.010
275	niv	478295.744	288991.847	693.714	478295.79	288991.809	693.677	0.046	-0.038	-0.037
276	niv	478299.496	288986.325	693.338	478299.555	288986.276	693.308	0.059	-0.049	-0.030
277	niv	478304.699	288983.237	693.371	478304.753	288983.191	693.365	0.054	-0.046	-0.006
278	niv	478309.398	288979.507	693.323	478309.442	288979.463	693.329	0.044	-0.044	0.006
279	niv	478315.583	288976.166	693.322	478315.628	288976.196	693.333	0.045	0.030	0.011
280	niv	478291.333	288974.733	692.815	478291.38	288974.754	692.839	0.047	0.021	0.024
281	niv	478300.933	288966.985	692.741	478300.958	288967.006	692.777	0.025	0.021	0.036
282	niv	478288.873	288952.834	693.493	478288.91	288952.822	693.488	0.037	-0.012	-0.005
283	niv	478283.589	288944.504	694.67	478283.609	288944.509	694.66	0.020	0.005	-0.010
284	niv	478295.13	288936.835	694.591	478295.159	288936.826	694.581	0.029	-0.009	-0.010
285	niv	478298.756	288933.26	694.423	478298.774	288933.257	694.397	0.018	-0.003	-0.026
286	niv	478301.061	288945.377	693.463	478301.074	288945.377	693.464	0.013	0.000	0.001
287	niv	478310.36	288941.724	692.96	478310.385	288941.742	692.983	0.025	0.018	0.023
288	niv	478300.958	288928.126	694.823	478300.982	288928.123	694.807	0.024	-0.003	-0.016
289	niv	478299.292	288923.137	695.373	478299.291	288923.122	695.351	-0.001	-0.015	-0.022
291	niv	478303.774	288913.52	696.677	478303.756	288913.535	696.639	-0.018	0.015	-0.038
292	niv	478306.144	288915.209	696.134	478306.159	288915.212	696.154	0.015	0.003	0.020
293	niv	478309.829	288916.074	696.257	478309.844	288916.08	696.276	0.015	0.006	0.019

294	niv	478314.207	288918.029	696.019	478314.231	288918.061	696.036	0.024	0.032	0.017
295	niv	478309.137	288924.894	694.545	478309.151	288924.898	694.541	0.014	0.004	-0.004
296	niv	478295.614	288926.977	697.606	478295.587	288927.003	697.563	-0.027	0.026	-0.043
297	niv	478292.453	288931.64	697.658	478292.483	288931.648	697.674	0.030	0.008	0.016
298	niv	478289.296	288934.788	697.553	478289.313	288934.798	697.568	0.017	0.010	0.015
299	niv	478285.948	288936.772	697.713	478285.987	288936.835	697.714	0.039	0.063	0.001
300	niv	478281.056	288940.017	697.985	478281.1	288940.052	697.936	0.044	0.035	-0.049
301	niv	478274.291	288943.964	698.093	478274.319	288943.992	698.113	0.028	0.028	0.020
303	niv	478314.366	288916.308	698.697	478314.39	288916.326	698.712	0.024	0.018	0.015
304	niv	478319.59	288919.258	698.424	478319.616	288919.271	698.436	0.026	0.013	0.012
305	niv	478325.901	288917.903	697.739	478325.931	288917.935	697.753	0.030	0.032	0.014
306	niv	478329.669	288919.744	696.569	478329.697	288919.778	696.583	0.028	0.034	0.014
307	niv	478335.609	288920.671	696.377	478335.641	288920.696	696.385	0.032	0.025	0.008
308	niv	478339.535	288922.529	696.495	478339.554	288922.553	696.523	0.019	0.024	0.028
309	niv	478345.38	288919.994	697.37	478345.402	288920.008	697.387	0.022	0.014	0.017
310	niv	478353.282	288919.232	697.68	478353.307	288919.249	697.71	0.025	0.017	0.030
311	niv	478358.18	288917.617	696.276	478358.209	288917.635	696.284	0.029	0.018	0.008
312	niv	478365.844	288915.68	696.724	478365.874	288915.695	696.741	0.030	0.015	0.017
313	niv	478374.94	288913.934	697.531	478374.962	288913.946	697.55	0.022	0.012	0.019
314	niv	478378.838	288910.505	697.424	478378.883	288910.515	697.444	0.045	0.010	0.020
315	niv	478361.35	288907.545	698.448	478361.379	288907.577	698.468	0.029	0.032	0.020
316	niv	478350.863	288910.673	698.376	478350.875	288910.657	698.395	0.012	-0.016	0.019
317	niv	478340.971	288912.022	698.543	478340.976	288912.013	698.548	0.005	-0.009	0.005
318	niv	478333.995	288913.272	698.445	478333.967	288913.287	698.489	-0.028	0.015	0.044
319	niv	478321.217	288912.488	698.224	478321.237	288912.52	698.24	0.020	0.032	0.016
320	niv	478328.657	288914.274	698.435	478328.667	288914.274	698.377	0.010	0.000	-0.058

321	niv	478313.76	288911.824	698.075	478313.782	288911.844	698.095	0.022	0.020	0.020
322	niv	478306.013	288908.911	698.363	478306.037	288908.945	698.386	0.024	0.034	0.023
323	niv	478302.743	288907.832	698.009	478302.704	288907.8	697.962	-0.039	-0.032	-0.047
324	niv	478304.499	288911.589	698.185	478304.53	288911.615	698.204	0.031	0.026	0.019
325	niv	478305.352	288913.506	698.178	478305.369	288913.45	698.111	0.017	-0.056	-0.067
326	niv	478302.686	288910.718	697.377	478302.657	288910.75	697.398	-0.029	0.032	0.021
327	niv	478353.363	288983.55	692.866	478353.387	288983.573	692.881	0.024	0.023	0.015
328	niv	478299.789	288909.24	697.485	478299.775	288909.241	697.497	-0.014	0.001	0.012
329	niv	478293.688	288921.544	697.614	478293.746	288921.555	697.61	0.058	0.011	-0.004
330	niv	478292.253	288919.168	697.667	478292.237	288919.172	697.683	-0.016	0.004	0.016
331	niv	478289.573	288916.773	697.615	478289.539	288916.755	697.642	-0.034	-0.018	0.027
332	niv	478288.851	288922.207	697.534	478288.84	288922.237	697.54	-0.011	0.030	0.006
333	niv	478284.382	288927.553	697.666	478284.408	288927.548	697.688	0.026	-0.005	0.022
334	niv	478280.894	288932.686	697.935	478280.862	288932.686	697.943	-0.032	0.000	0.008
335	niv	478282.686	288918.677	697.518	478282.698	288918.658	697.537	0.012	-0.019	0.019
336	niv	478284.067	288912.542	697.493	478284.051	288912.538	697.512	-0.016	-0.004	0.019
337	niv	478284.72	288906.562	697.939	478284.702	288906.538	697.973	-0.018	-0.024	0.034
338	niv	478284.981	288900.34	698.295	478284.97	288900.329	698.31	-0.011	-0.011	0.015
339	niv	478295.285	288897.558	698.468	478295.284	288897.542	698.467	-0.001	-0.016	-0.001
340	niv	478291.509	288902.857	698.354	478291.509	288902.856	698.364	0.000	-0.001	0.010
341	niv	478293.16	288913.968	696.929	478293.165	288913.97	696.944	0.005	0.002	0.015
342	niv	478299.676	288904.881	698.294	478299.662	288904.882	698.305	-0.014	0.001	0.011
343	niv	478349.2	288904.604	698.255	478349.171	288904.629	698.237	-0.029	0.025	-0.018

Tabla 9: Datos comparativos puntos de nivel en el terreno.

(Fuente: Tesis "Análisis comparativo de modelos digitales de terreno obtenidos con técnicas satelitales GNSS y estación total", noviembre 2021).

### 3.5 Levantamiento fotogramétrico con *drone*

Equipo utilizado

1. Drone DJI Mavic 2 Pro
2. Teléfono Celular (Smartphone) con aplicaciones de vuelo instaladas DJI Go y Pix4Dcapture
3. Lonas para control fotogramétrico
4. Dos receptores GPS Marca Carlson
5. Colector de datos Marca Carlson con sistema operativo SurvCE.
6. Antena encargada de transmitir y recibir señales de radio entre equipos receptores.
7. Cable de comunicación entre equipo receptor y colector de datos.
8. Soporte para antena.
9. Base nivelante.
10. Acople de rosca para fijar el receptor a la base nivelante.
11. Cinta métrica.
12. Cable de carga del receptor.

#### 3.4.1 Metodología para la recolección de datos por medio de drone

Para realizar la captura de datos o en este caso imágenes para generar el modelo digital del terreno utilizando técnica de levantamiento con drone, se pretende programar un vuelo que cubra toda el área de terreno a levantar utilizando las siguientes aplicaciones:

- DJI Go: Que nos ayuda a monitorear en tiempo real el estatus del drone como son la batería del drone y del control, modo de vuelo, altitud máxima de vuelo, distancia máxima de vuelo, a cuantos satélites posee acceso, si se encuentra en una zona que no tenga ninguna interferencia que pueda generar la perdida de comunicación con el drone al momento del vuelo, que la cámara no tenga ninguna obstrucción por lo que nos brinda una vista

directa a lo que el drone está observando, si es necesario calibrar la brújula, las configuraciones de la cámara como resolución, la nitidez, formato de fotos/video, balance de blancos, entre otros, con esta aplicación es posible generar vuelos con el drone de manera manual dándonos la ubicación del drone en un radar ubicado en el lateral inferior izquierdo, ver figura 103.

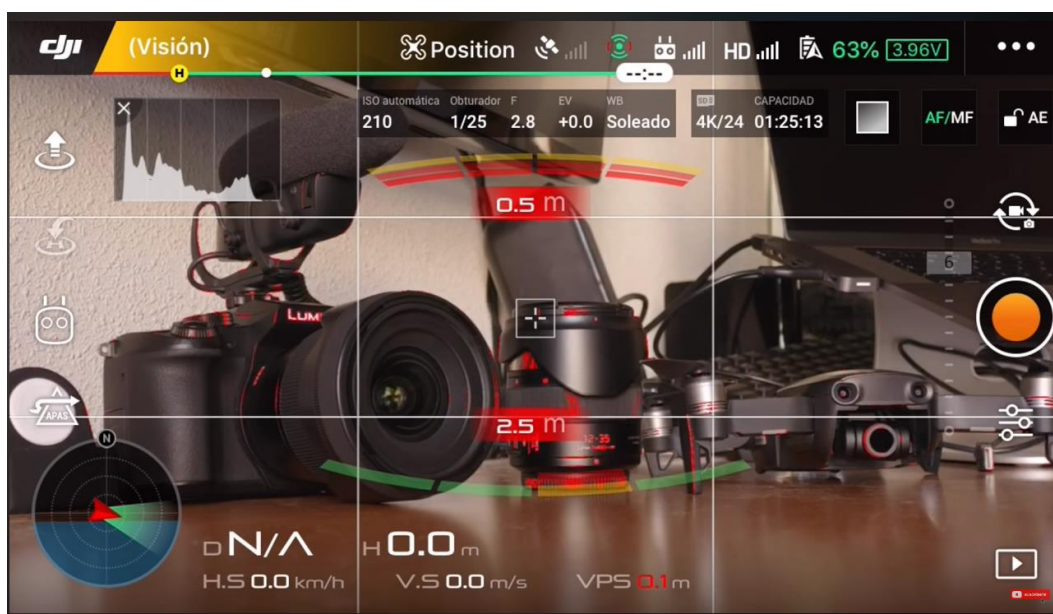


Figura 103. Pantalla principal de aplicación DJI Go.

(Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=F4ClrjZmJbw>)

- Pix4Dcapture: permite crear planes de vuelo para capturar datos de imágenes para que después del vuelo, produzca fácilmente mapas y modelos georreferenciados en los softwares de escritorio, esta aplicación permite ajustar el plan de vuelo y los parámetros definiendo fácilmente el tamaño de una misión para mapear áreas de todos los tamaños. Permite personalizar los parámetros de mapeo como la superposición de imágenes, el ángulo de

la cámara o la altitud de vuelo según las necesidades del proyecto, ver figura 104.

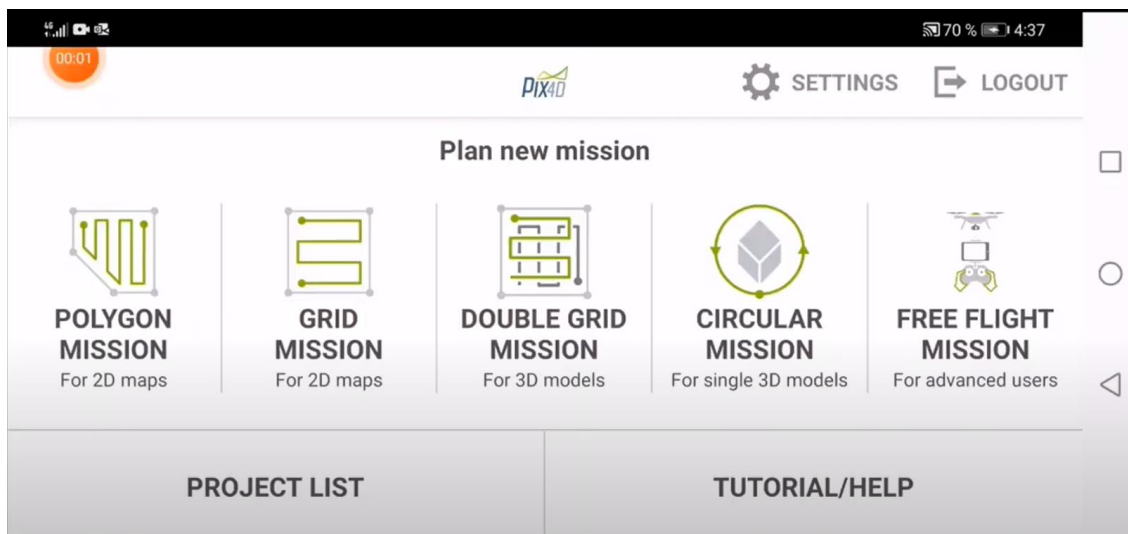


Figura 104. Pantalla principal de aplicación Pix4Dcapture

(Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=F4ClrjZmJbw>)

Antes de realizar el vuelo se colocarán puntos de control fotogramétricos (visuales) y se realizara el levantamiento de estos puntos por medio del método RTK mencionado anteriormente, para así poder georreferenciar las fotografías a las coordenadas LAMBERT SIRGAS ESA 2007.

### 3.4.2 Guía básica para el levantamiento con dron

#### **Paso 1:** Armado de Dron y conexión a teléfono

Para iniciar el levantamiento la primera etapa consiste en el montaje o armado del dron con sus componentes y la conexión del teléfono inteligente la mismo.



*Figura 105. Componentes de drone DJI Mavic 2 Pro.*

*(Fuente: Creación propia)*

Inicialmente se armará el control remoto del drone, como primer paso se despliegan las palancas inferiores donde ira ubicado el smartphone para proceder a extraer las palancas de los joystick estos los atornillamos al control, luego desplegamos las antenas que se encuentran en la parte superior del control, como cuarto paso conectamos al control remoto el cable dual tipo c para posteriormente colocar el smartphone de tal manera que su ranura quede ubicado hacia la parte izquierda del control remoto donde se encuentra un

conector y de esta manera ya se encuentra completamente armado y realizado la conexión control remoto con el smartphone, ver figura 106.



Figura 106. Paso a paso de armado de control remoto del dron y conexión del smartphone.

(Fuente: Creación propia)

Para el armado del dron DJI Mavic 2 Pro se inicia con la extracción del protector del gimbal (cámara) es importante quitar este protector antes de encender la aeronave debido al encenderlo el gimbal realiza movimientos de prueba que al realizarlo con el protector puesto puede dañarlo debido que este protector fija el

gimbal para evitar que al trasladarlo no sufra daños debido al movimiento, una vez retirado el protector del gimbal procedemos a instalar las hélices, luego desplegamos las extremidades del drone donde van los motores de las hélices primero las superiores y luego las inferiores, unas extendidas estas extremidades le colocamos la batería al drone y para finalizar el drone cuenta con dos tipos de hélices una con marca blanca y una sin marca para distinguir donde va conectadas cada una, estas para conectarse únicamente se realiza presión y se gira en sentido antihorario sobre los pines que se encuentran en el motor teniendo en cuenta que la hélice con marca blanca va conectada al motor que posee la marca blanca y las que no tienen marca van conectadas con el motor que no posee marca, ver figura 107.



Figura 107. Paso a paso de armado del drone.

(Fuente: Creación propia)



*Figura 108. Drone DJI Mavic 2 Pro armado  
(Fuente: Creación propia)*

**Paso 2:** Colocación de puntos de control fotogramétrico en el terreno y realizar levantamiento con metodología para la recolección de datos con técnicas GNSS vista en sección 3.3 de esta investigación (Método RTK), ver figura 109.



*Figura 109. Lonas para puntos de control fotogramétrico colocadas en el terreno.  
(Fuente: Creación propia)*

**Paso 4:** Encendido y revisión del estatus del drone.

Una vez armado el drone y sus componentes y levantados los puntos de control fotogramétricos procedemos a realizar la configuración de los parámetros de vuelo, para ello inicialmente encendemos el drone y el control remoto. Para encender el control remoto se debe presionar dos veces el botón de encendido y apagado que se encuentra en el lado superior derecho manteniendo en la segunda ocasión la presión sobre el mismo hasta que el control se encienda y muestre en pantalla “CONNECTING...”, para encender la aeronave únicamente se mantiene presionado el botón de encendido y apagado que se encuentra en la parte superior hasta que el drone reacciona moviendo las hélices, el gimbal y adicional muestra las luces de sus sensores anti obstáculos.



Figura 110. Drone y control remoto encendidos.

(Fuente: Creación propia)

Una vez encendido el drone por medio del smartphone conectado al control se ingresa a la aplicación de monitoreo DJI Go para confirmar el estatus de la aeronave, se ingresa a la opción de “estado de aeronave” en la aplicación verificamos en esta pantalla que el drone se encuentre su estado general en “Normal”, que la brújula se encuentre calibrada y en estado normal, en caso de

no estar calibrada la aplicación brinda el mensaje en color rojo “Calibrar brújula” al seleccionar la opción nos brinda unos pasos a realizar con la aeronave para que la brújula se calibre y brinde el estatus “normal”, revisamos los parámetros de altitud y distancia de vuelo máxima, de acuerdo a lo requerido para el terreno a levantar se debe verificar la batería del control remoto, del smartphone como del dron para que no genere inconvenientes en el vuelo, se recomienda para el caso del dron andar una batería extra cargada en caso la misión de vuelo a realizar sea muy extensa, así como que el control remoto y el smartphone se encuentren con un estado de carga al 100%, una vez revisado el estatus del dron y confirmar con la aplicación y con el control remoto que brinde el mensaje “Listo para volar” y “Ready to go” , ver figura 111 y 112 respectivamente, podemos pasar al siguiente paso.

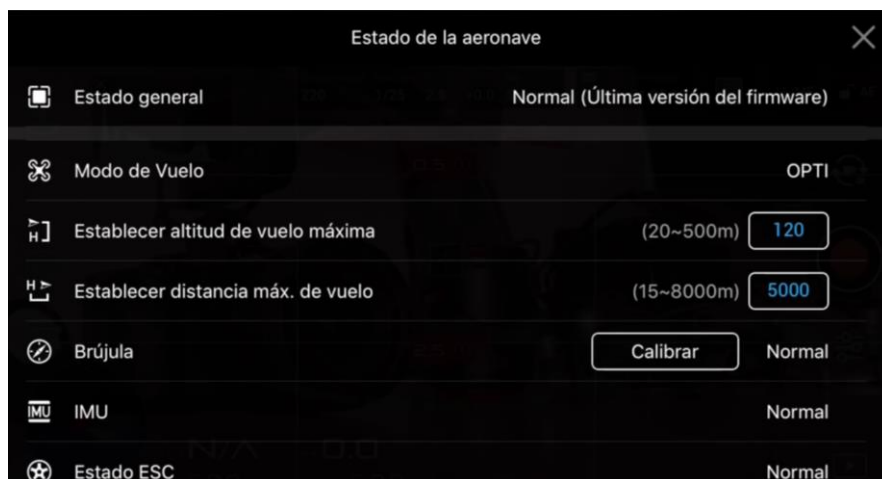


Figura 111. Pantalla de estado de la aeronave con parámetros normales  
(Fuente: Creación propia)



Figura 112. Estatus de drone “Listo para volar”.

(Fuente: Creación propia)

### Paso 3: Configuración de parámetros de vuelo.

Para realizar la programación de una misión de vuelo con el drone, ingresamos a la aplicación de Pix4Dcapture, seleccionamos la opción “POLYGON MISSION”, esta opción nos permite adecuar a la forma del área el recorrido a realizar por medio de unos puntos vértices, ver figura 113.



Figura 113. Selección de opción para “planear nueva misión”.

(Fuente: Creación propia)

Una vez seleccionada nuestra opción de misión realizamos las configuraciones de los parámetros de vuelo, para ese caso ingresamos al símbolo engranaje que aparece en la parte superior derecha, se despliega un menú con las siguientes opciones:

Velocidad (speed): Que se puede configurar de lento a rápido, lo recomendable es dejarlo en una velocidad intermedia (al centro de la línea)

Angulo (angle): Que se puede configurar de 0° a 90°, para este tipo de vuelos lo recomendable es dejarlo a 90° totalmente vertical

Traslape (overlap): Que se puede configurar de 0% a 90%, lo recomendable es dejarlo de 70% a 80% un traslape intermedio (al centro de la línea), esto para lograr conseguir un mayor número de puntos de paso al momento de realizar el procesamiento de las fotografías.

Rostro (face): Que se puede configurar como adelante(forward) o centro(center) para este tipo de vuelos se recomienda dejarlo en adelante(forward), ver figura 114.

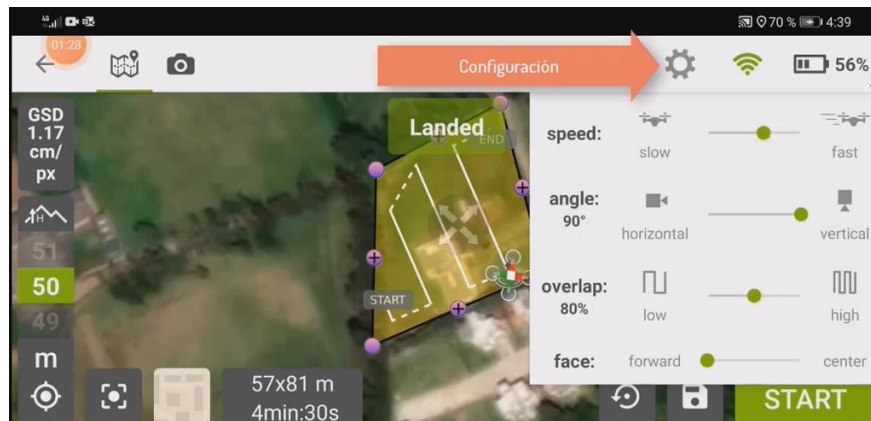


Figura 114. Configuración de parámetros de vuelo.

(Fuente: Creación propia)

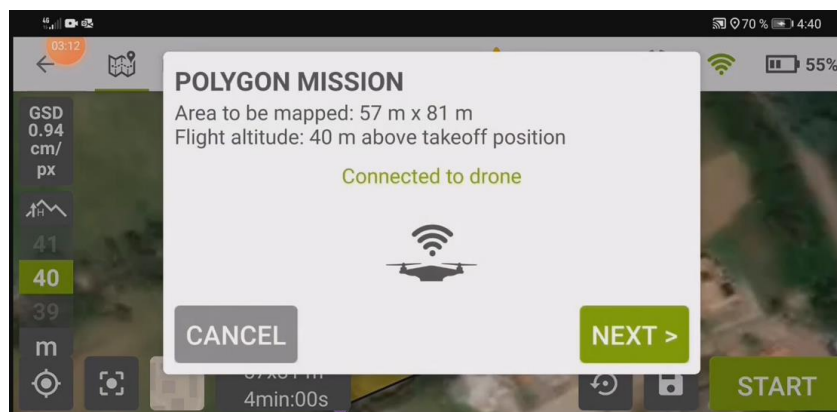
Al lado izquierdo se configura la altura de vuelo, para la selección de la altura se deben considerar varios puntos como son, el detalle que se necesita en cada fotografía, la calidad de la cámara del dron y el tamaño del terreno, para tener una mejor selección de la altura en la parte superior izquierda brinda el valor del GSD, entre más detalle se requiera tener menor debe de ser la altura y por lo tanto el GSD será menor, para este vuelo en específico la altura de vuelo seleccionada fue de 40m.

Una vez realizadas estas configuraciones en la parte de debajo de la pantalla nos brinda el detalle del área a cubrir en metros y el tiempo que se tardará el dron en realizar el recorrido, adicional en el área a recorrer brinda dos puntos uno que dice "START" y el otro que dice "END", estos puntos son los que marcan donde iniciará el recorrido y en qué punto finalizará, por lo tanto se recomienda que el punto despegue/aterrizaje del dron se encuentre en un punto central del terreno,

para que el tiempo que tarde en llegar al punto de inicio y regresar del punto final sea menor.

#### **Paso 4:** Vuelo programado y descarga de datos

Una vez configurados los parametros de vuelo, se presiona el boton de START que se encuentra en el lado inferior derecho de la pantalla, brinda una nueva pantalla donde indica el tipo de mision, el área mapeada, la altura de vuelo y el detalle que se encuentra conectando con el drone, una vez conectada con el drone se selecciona la opción NEXT que aparece en la parte inferior derecha, ver figura 115.



*Figura 115. Datos generales de la misión de vuelo.*

*(Fuente: Creación propia)*

Posterior a eso nos brinda otra pantalla con un listado a chequear para poder continuar con la misión, en el caso que alguno de estos parametros no se encuentren correctos la aplicación no permitira continuar con el vuelo, los parametros a chequear son los siguientes:

- Conexión al dron
- Estatus de la camara
- Calibración del dron
- Selección de punto de partida
- La misión está dentro del alcance
- Misión subida a dron
- Almacenamiento del dron
- Satélites GPS disponibles para dron
- El interruptor está en la posición P

Una vez todos estos parámetros se encuentren correctos se habilitará en la parte inferior derecha la opción para iniciar el vuelo que indica el mensaje de “mantenga presionado (3s) para despegar”, ver figura 116.

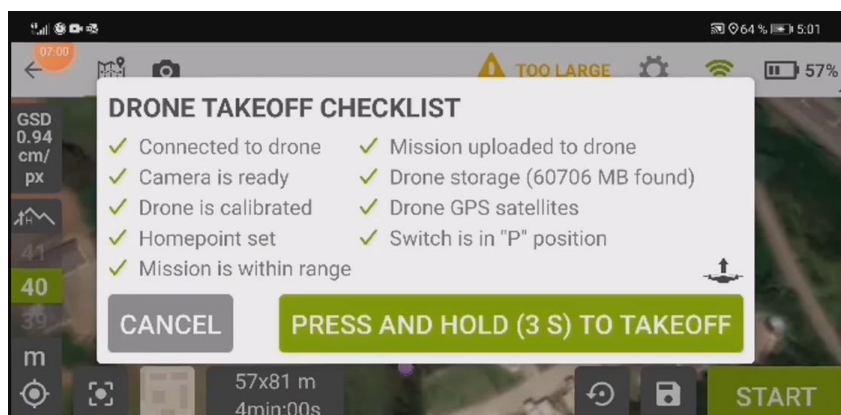


Figura 116. Lista de verificación de despegue del dron.

(Fuente: Creación propia)

Una vez realizado lo anterior el dron despegará de su base y comenzará a realizar el recorrido programado, en pantalla se podrá observar la ubicación del dron, el número de satélites disponibles, el almacenamiento disponible, la velocidad del dron, la altura de vuelo, la distancia a la que se encuentra de

nuestra ubicación y en el recorrido mostrará un símbolo de cámara que significa que en ese punto el realizo la captura de una fotografía, ver figura 117.

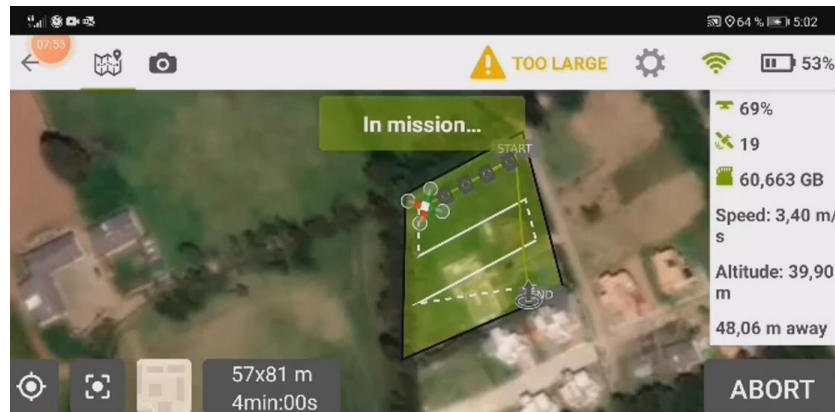


Figura 117. Pantalla que se muestra durante la misión.

(Fuente: Creación propia)

Al finalizar el recorrido, el drone regresara a su punto de despegue (base) para comenzar el descenso y en ese momento en pantalla mostrara un mensaje que las fotografías tomadas se están sincronizando y guardándose en la nube de la aplicación, ver figura 118.

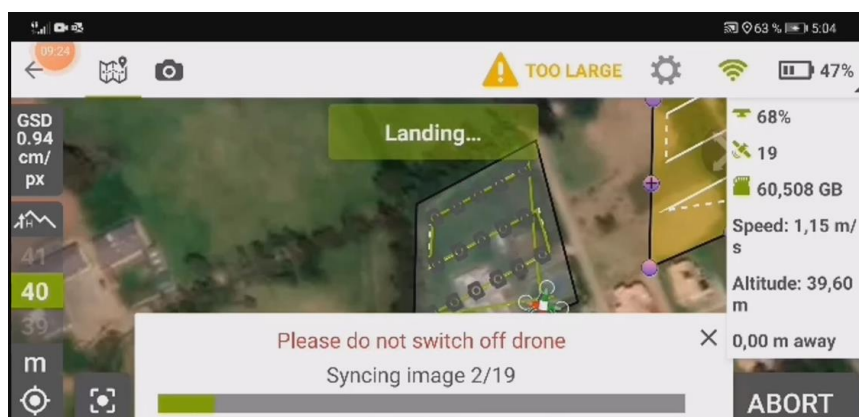


Figura 118. Sincronización de fotografías a la nube.

(Fuente: Creación propia)

Al finalizar el vuelo, se recomienda desarmar el drone con todos sus componentes y guardarlos en su maletín para evitar cualquier daño al equipo.

### 3.4.3 Datos obtenidos con vuelo con dron.

Con la técnica GNSS (Método RTK) realizada para el levantamiento de los puntos fotogramétricos se obtuvieron las coordenadas que se muestran en la figura 119.

PCF TESIS: Bloc de notas

Archivo Edición Formato Ver Ayuda

PCF1,	478308.93,	288935.72,	693.430
PCF2,	478366.82,	288927.97,	692.965
PCF3,	478405.66,	288917.99,	691.965
PCF4,	478412.84,	288961.19,	692.295
PCF5,	478394.89,	288988.31,	693.293
PCF6,	478332.93,	289001.81,	695.589

Figura 119. Datos de PCF.

(Fuente: Creación propia)

Y con el vuelo realizado, se obtuvieron un total de 111 fotografías, ver figura 120.

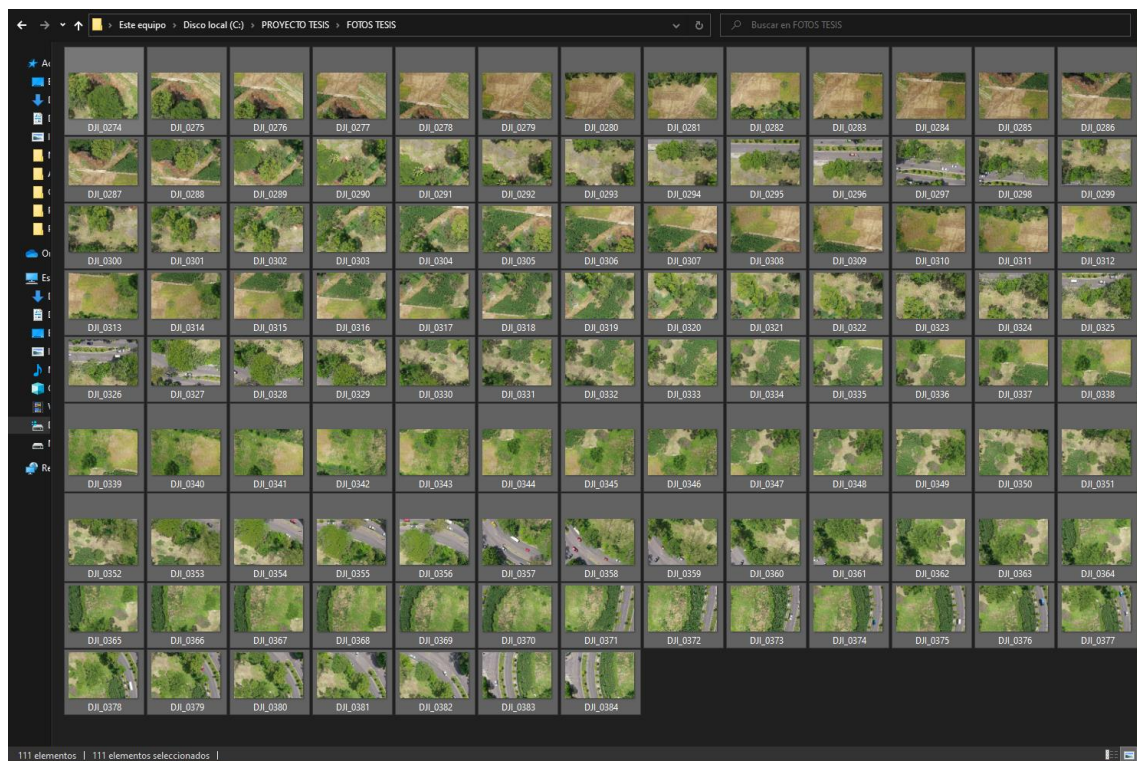


Figura 120. Fotografías obtenidas de vuelo.

(Fuente: Creación propia)

## **CAPÍTULO IV: PROCESAMIENTO DE DATOS**

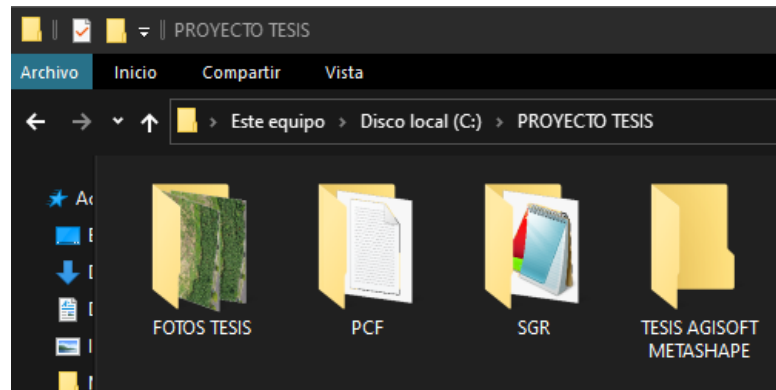
### **4.1 Agisoft Metashape: procesamiento de datos**

#### **4.1.1 Creación de proyecto nuevo**

Pasos:

- a) Crear carpeta con nombre de proyecto ubicada en el mismo disco de almacenamiento que donde se encuentra instalado el programa Agisoft Metashape, en nuestro caso será el Disco C y nombre de carpeta “PROYECTOS TESIS”.
  
- b) En la carpeta creada “PROYECTOS TESIS” se deben guardar las carpetas siguientes:
  - Carpeta con las fotografías obtenidas del vuelo con el drone
  - Carpeta con el archivo de las coordenadas de los PCF colocados
  - Carpeta con el archivo PRJ del sistema de referencia geodésico que en nuestro caso es “LAMBERT SIRGAS ES2007.8” y el archivo en formato GGF del sistema de coordenadas vertical en este caso sería el sistema más actual de geoide que es el 2008.

- Crear carpeta donde se guardará todo el procesamiento con el programa, llamada “TESIS AGISOFT METASHAPE”, ver figura



121.

*Figura 121. Carpeta con la información a utilizar para procesamiento.*

*(Fuente: Creación propia)*

- c) Luego se abre el programa Agisoft Metashape y en el menú de archivo se selecciona “Guardar como” se levanta una nueva ventana donde se debe seleccionar la carpeta donde se desea guardar el proyecto, esta debe seleccionarse en la carpeta creada en paso a) “PROYECTOS TESIS” y luego en la carpeta creada en el paso b) “TESIS AGISOFT METASHAPE” una vez seleccionada la ubicación se debe ingresar el Nombre del

proyecto en nuestro caso “TESIS AGISOFT METASHAPE” y luego se da clic en guardar, ver figura 122.

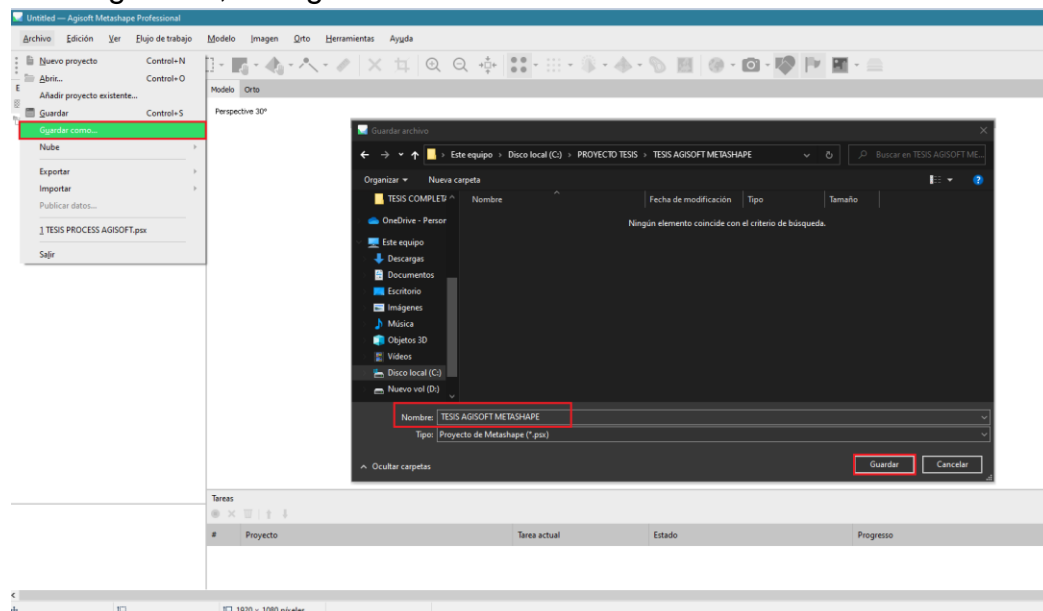


Figura 122. Creación de nuevo proyecto.

(Fuente: Creación propia)

#### 4.1.2 Importar la información

Pasos:

- a) En la pantalla principal del programa ingresamos a la opción “flujo de trabajo” donde nos brinda dos opciones, la primera donde podemos añadir las fotografías seleccionadas y la otra opción donde podemos seleccionar una carpeta donde se encuentran todas las fotografías, en nuestro caso seleccionaremos la carpeta donde se encuentran todas las fotografías obtenidas del vuelo con el dron, ver figura 123.

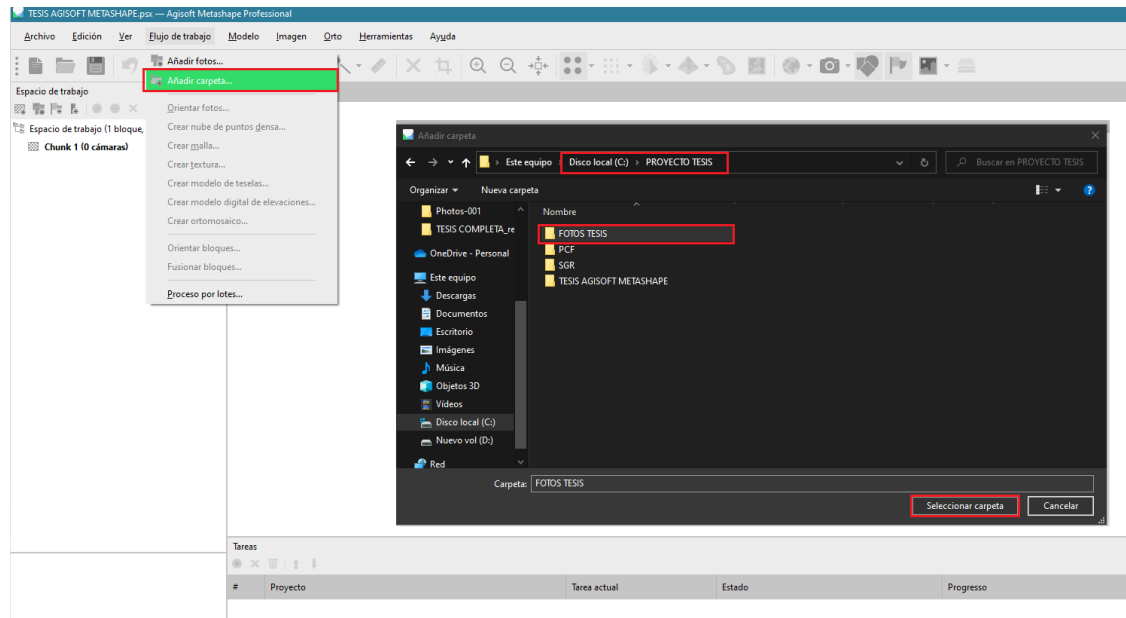


Figura 123. Importación de fotografías.

(Fuente: Creación propia)

b) Una vez seleccionada la carpeta el programa brinda una nueva pantalla donde nos indica que seleccionemos el sistema de datos:

- Cámaras individuales: Para el caso si las fotografías pertenecen a un mismo bloque, es decir un mismo vuelo
- Escena dinámica (40): Para el caso si dentro de la carpeta hay otras subcarpetas con información de diferentes bloques, es decir si hay más de un vuelo.

Seleccionamos la primera opción en nuestro caso dado que las fotografías pertenecen a un mismo vuelo, ver figura 124.

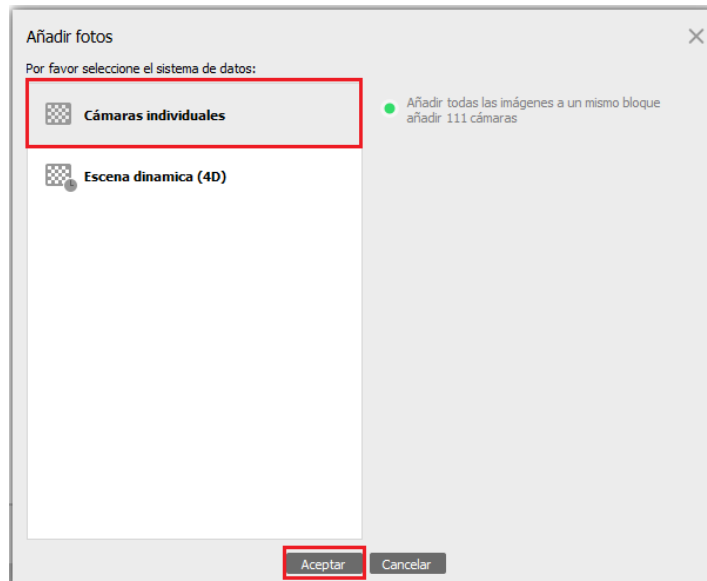


Figura 124. Opciones de sistema de datos.

(Fuente: Creación propia)

Una vez dando clic en aceptar se puede observar que se cargan al espacio de trabajo las fotografías del vuelo realizado, en nuestro caso las 111 fotos y a la par de cada fotografía aparece “NA” porque todavía las fotografías no han sido alineadas, ver figura 125.

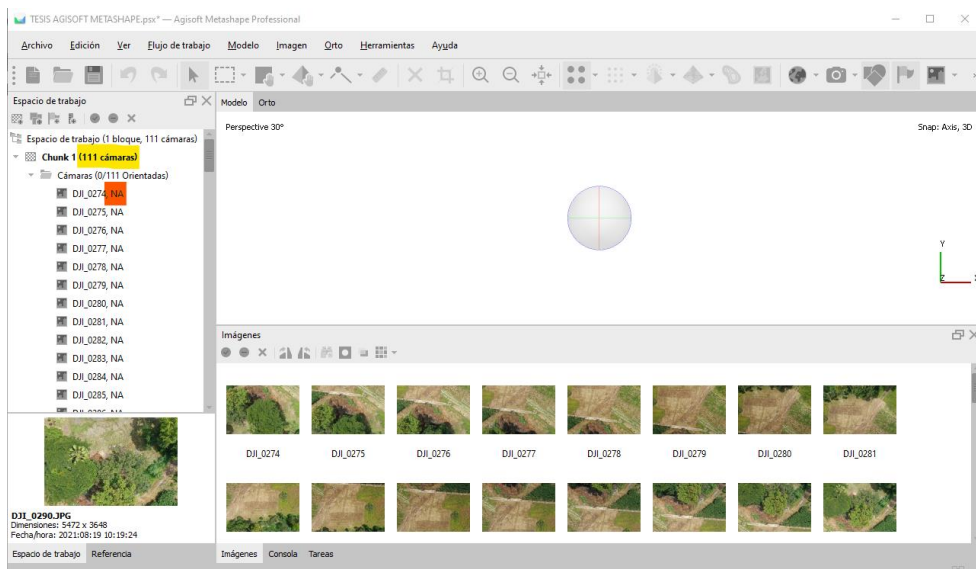
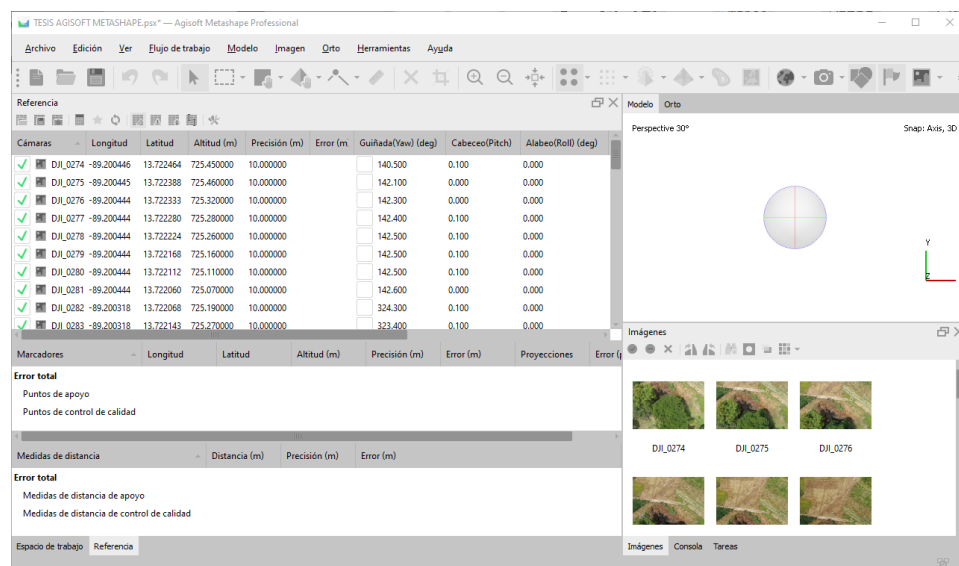


Figura 125. Fotografías añadidas en espacio de trabajo.

(Fuente: Creación propia)

- c) Si seleccionamos la opción de “Referencia” que se encuentra en la parte inferior derecha del espacio de trabajo, en pantalla brindará una tabla con el detalle de cada fotografía sus coordenadas geográficas con las que fueron levantadas Longitud (grado), Latitud (grado), y la Altitud(m), también se pueden observar los giros de la cámara que se obtuvieron durante el vuelo Yaw, Pitch, Roll.

En este caso el programa ha realizado la importación de las fotografías de manera correcta, ver figura 126.



The screenshot shows the Agisoft Metashape Professional interface. The 'Referencia' panel is active, displaying a table with the following data:

Cámaras	Longitud	Latitud	Altitud (m)	Precisión (m)	Error (m)	Guiñada(Yaw) (deg)	Cabeceo(Pitch)	Alabeo(Roll) (deg)
✓ DJI_0274 -89.200446	13.722464	725.450000	10.000000		140.500	0.100	0.000	
✓ DJI_0275 -89.200445	13.722388	725.460000	10.000000		142.100	0.000	0.000	
✓ DJI_0276 -89.200444	13.722333	725.320000	10.000000		142.300	0.000	0.000	
✓ DJI_0277 -89.200444	13.722280	725.280000	10.000000		142.400	0.100	0.000	
✓ DJI_0278 -89.200444	13.722224	725.260000	10.000000		142.500	0.100	0.000	
✓ DJI_0279 -89.200444	13.722168	725.160000	10.000000		142.500	0.100	0.000	
✓ DJI_0280 -89.200444	13.722112	725.110000	10.000000		142.500	0.100	0.000	
✓ DJI_0281 -89.200444	13.722060	725.070000	10.000000		142.600	0.000	0.000	
✓ DJI_0282 -89.200318	13.722068	725.190000	10.000000		324.300	0.100	0.000	
✓ DJI_0283 -89.200318	13.722143	725.270000	10.000000		323.400	0.100	0.000	

Below the table, there are sections for 'Marcadores', 'Error total', and 'Medidas de distancia'. The 'Imágenes' panel on the right shows a 3D model of the terrain and thumbnails for images DJI\_0274, DJI\_0275, and DJI\_0276.

Figura 126. Información de las fotografías añadidas a espacio de trabajo.

(Fuente: Creación propia)

### 4.1.3 Sistema de referencia geodésico

Una vez realizada la importación de las fotografías, debemos verificar el sistema de referencia de coordenadas de salida, en la opción de “Referencia” ingresamos en la opción de “convertir coordenadas” que es el cuarto icono que se encuentra en la parte superior, este nos brindará una ventana donde nos indicara “Convertir

referencia” y nos mostrará el sistema de coordenadas seleccionado automáticamente que en este caso fue el sistema de referencia WGS 84 (EPSG::4326), ver figura 127, pero el sistema de salida para El Salvador no es el anterior mencionado, sino que se debe crear nuestro sistema de coordenadas proyectado que es la proyección cónica conforme de LAMBERT SIRGAS-ES2007.

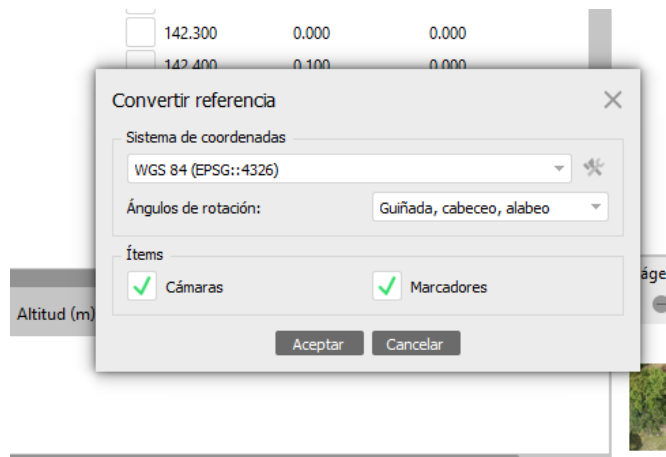


Figura 127. Sistema de coordenadas registrado en fotografías automáticamente.

(Fuente: Creación propia)

Para el cambio de sistema de referencia se debe realizar lo siguiente:

- a) En la ventana de convertir referencia desplegamos el listado de sistema de coordenadas y seleccionamos “Más...”, ver figura 128.

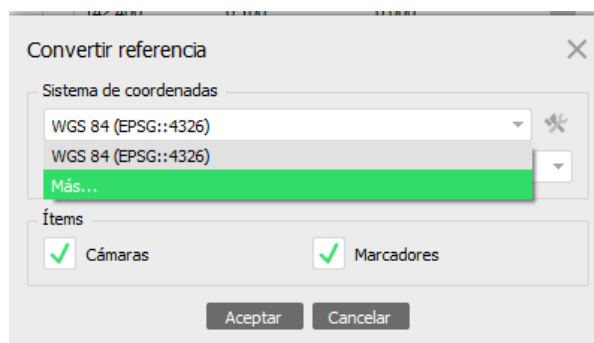


Figura 128. Listado desplegable, selección de coordenadas.

(Fuente: Creación propia)

Mostrará una nueva ventana con todos los sistemas de coordenadas geográficas y proyectadas registrados en el programa, podemos encontrar en la lista nuestro sistema de referencia geográfico nombrado como SIRGAS-ES2007.8 (EPSG::5393), este lo utilizaremos para la creación del sistema de coordenadas proyectado, ver figura 129.

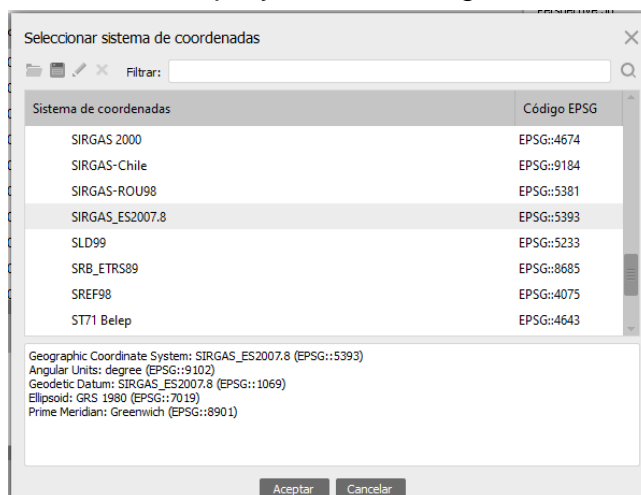


Figura 129. Sistema de coordenadas disponibles en software.

(Fuente: Creación propia)

- b) Para la creación del sistema, seleccionamos cualquier sistema de los proyectados existentes y damos clic en la opción de “editar” ver figura 130.

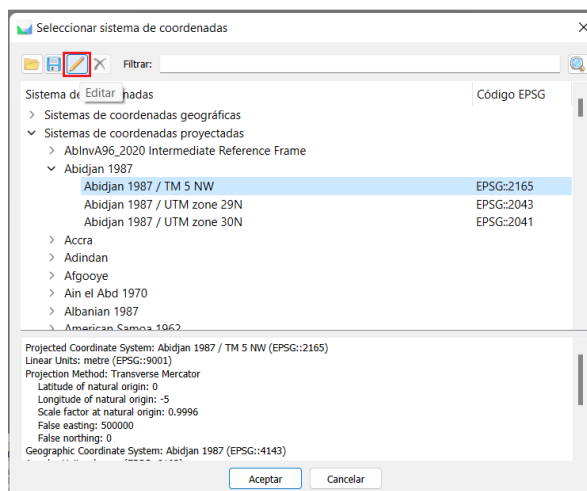


Figura 130. Selección de un sistema de coordenadas proyectadas para edición.

(Fuente: Creación propia)

Una vez seleccionada esta opción se habilita una nueva ventana, ahí ingresamos los siguientes datos:

- i. Etiqueta: colocamos el nombre LAMBERT SIRGAS-ES2007.
- ii. SC geográficas: Seleccionamos el sistema de referencia geográfico nombrado como SIRGAS-ES2007.8 (EPSG::5393) existente en el programa.
- iii. SC verticales: Seleccionamos la opción “Personalizada”, se habilita una nueva ventana en Etiqueta ingresamos “EGM 2008”, Unidad “metro” y en Datum seleccionamos la opción añadir y seleccionamos el archivo GGF guardado en la carpeta creada en el apartado 4.1.1 paso b, ver figura 131.

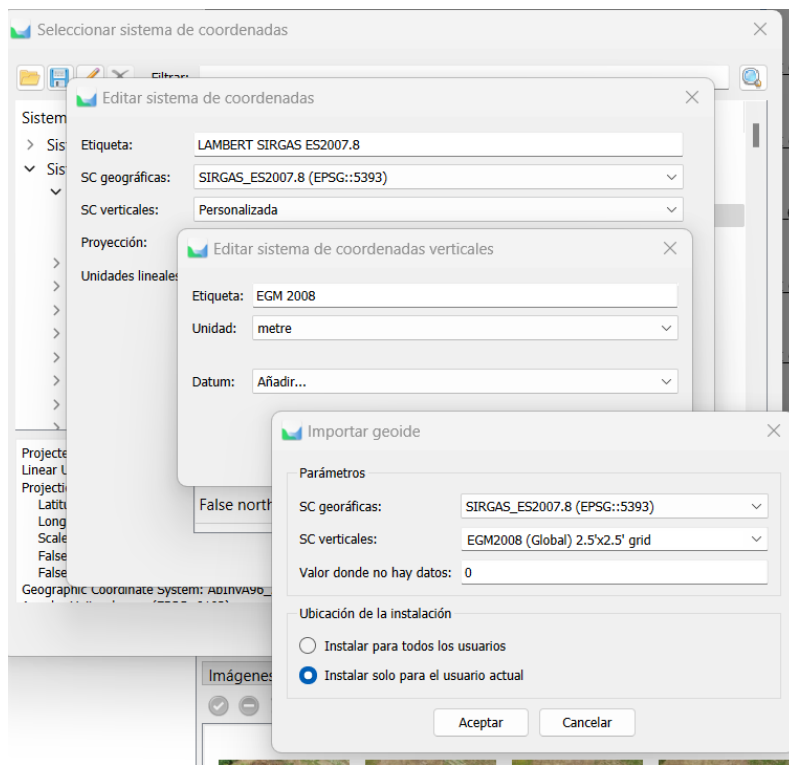


Figura 131. Creación de sistema de coordenadas proyectado pasos i a iii.

(Fuente: Creación propia)

- iv. Proyección: Seleccionamos Cónica conforme de Lambert (2SP)
- v. Unidades lineales: Seleccionamos metre
- vi. En la tabla de parámetros, agregamos los valores para los datos correspondiente al sistema de referencia Lambert SIRGAS-ES 2007, que corresponden al archivo PRJ guardado en la carpeta creada en el apartado 4.1.1 paso b, ver figura 132.

Editar sistema de coordenadas

Etiqueta: LAMBERT SIRGAS ES2007.8

SC geográficas: SIRGAS\_ES2007.8 (EPSG::5393)

SC verticales: Personalizada

Proyección: Cónica conforme de Lambert (2SP)

Unidades lineales: metre

Parámetro	Valor
Latitude of origin	13.78429933999976
Central meridian	-88.99998297000097
Standard parallel 1	13.31763266666689
Standard parallel 2	14.25096600000022
False easting	500000

Aceptar Cancelar

Figura 132. Creación de sistema de coordenadas proyectado datos completos.

(Fuente: Creación propia)

Ingresados todos los datos, se da clic en aceptar y de esta manera en la ventana de seleccionar sistema de coordenadas aparece una nueva opción que indica los

Sistemas de coordenadas definidos por el usuario y aparece el sistema que hemos creado LAMBERT SIRGAS ES2007.8 con el detalle de los parámetros que hemos registrado ver figura 133.

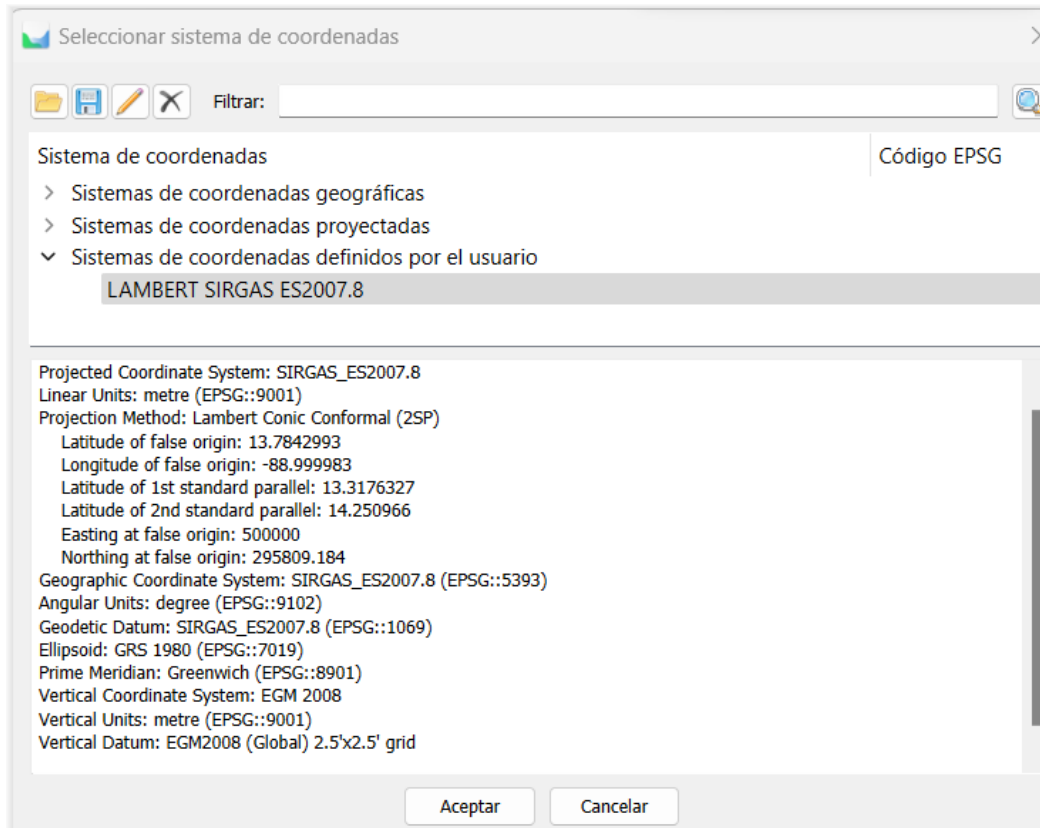


Figura 133. Sistema de coordenadas definido por el usuario LAMBERT SIRGAS ES2007.8.  
(Fuente: Creación propia)

- c) Creado el sistema damos clic en aceptar y nos aparece nuevamente la ventana de convertir referencia con el sistema seleccionado, en el apartado de Ítem, aparecen por defecto marcados las opciones “Cámaras” y “Marcadores” únicamente dejamos marcada “Cámaras”, en ángulos de rotaciones dejamos seleccionado “Guiñada, cabeceo y alabeo” que son

los giros de la cámara con los que se registraron las fotografías en el vuelo, luego damos clic en aceptar, ver figura 134 automáticamente se actualizan las coordenadas de las fotografías, ver figura 135.

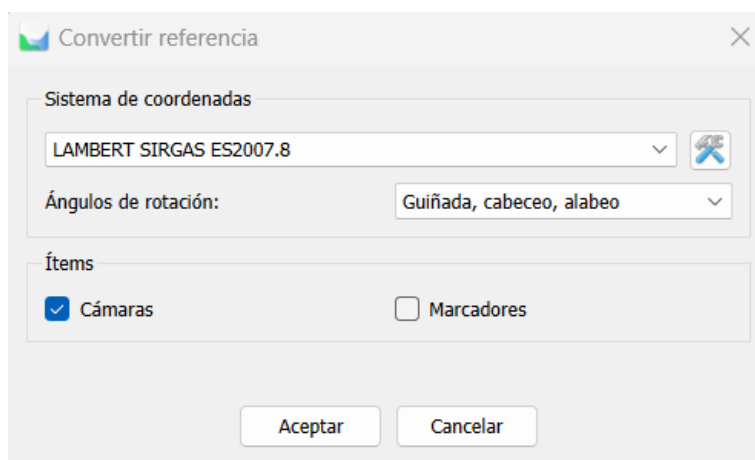


Figura 134. Convertir referencias a LAMBERT SIRGAS ES2007.8.

(Fuente: Creación propia)

Cámaras	Este (m)	Norte (m)	Altitud (m)	Precisión (m)	Error (m)
<input checked="" type="checkbox"/> DJI_0274	478318.167140	288977.176264	723.915835	10.000000	
<input checked="" type="checkbox"/> DJI_0275	478318.257501	288968.801252	723.925969	10.000000	
<input checked="" type="checkbox"/> DJI_0276	478318.360569	288962.694211	723.786067	10.000000	
<input checked="" type="checkbox"/> DJI_0277	478318.366497	288956.830644	723.746160	10.000000	
<input checked="" type="checkbox"/> DJI_0278	478318.350479	288950.590943	723.726259	10.000000	
<input checked="" type="checkbox"/> DJI_0279	478318.302060	288944.406585	723.626358	10.000000	
<input checked="" type="checkbox"/> DJI_0280	478318.329315	288938.177911	723.576457	10.000000	
<input checked="" type="checkbox"/> DJI_0281	478318.313759	288932.491375	723.536547	10.000000	
<input checked="" type="checkbox"/> DJI_0282	478331.899252	288933.342992	723.656580	10.000000	
<input checked="" type="checkbox"/> DJI_0283	478331.971014	288941.585109	723.736449	10.000000	
<input checked="" type="checkbox"/> DJI_0284	478331.943387	288947.371251	723.816357	10.000000	
<input checked="" type="checkbox"/> DJI_0285	478331.948557	288953.577771	723.856258	10.000000	
<input checked="" type="checkbox"/> DJI_0286	478331.932087	288959.773246	723.846160	10.000000	
<input checked="" type="checkbox"/> DJI_0287	478331.904801	288965.968731	723.866061	10.000000	
<input checked="" type="checkbox"/> DJI_0288	478331.899193	288972.219514	723.935962	10.000000	
<input checked="" type="checkbox"/> DJI_0289	478331.915142	288978.381772	723.955863	10.000000	
<input checked="" type="checkbox"/> DJI_0290	478331.887626	288984.300673	723.985769	10.000000	
<input checked="" type="checkbox"/> DJI_0291	478331.871239	288990.595719	724.105669	10.000000	
<input checked="" type="checkbox"/> DJI_0292	478331.876391	288996.780113	724.125570	10.000000	

Figura 135. Fotografías actualizadas a Sistema LAMBERT SIRGAS ES2007.8.

(Fuente: Creación propia)

#### 4.1.4 Calibración de las fotografías

Para obtener un procesamiento de las fotografías más óptimo se recomienda realizar las siguientes calibraciones:

a) Estimar la calidad de las fotografías, calidad mayor al 80%

Uno de los pasos que se deben realizar antes de alinear las fotografías es estimar la calidad de las fotografías obtenidas en el vuelo esto con el fin que podamos conocer si el vuelo cuenta con alguna imagen que pueda afectar el procesamiento, la calidad mínima debe ser 80%, el proceso para realizar la calibración es el siguiente:

- a) En la ventana inferior derecha nombrada “Imágenes”, damos clic derecho sobre cualquiera de las fotografías, se despliega una lista de opciones, seleccionamos la opción “Estimar calidad de imagen...” ver figura 136.

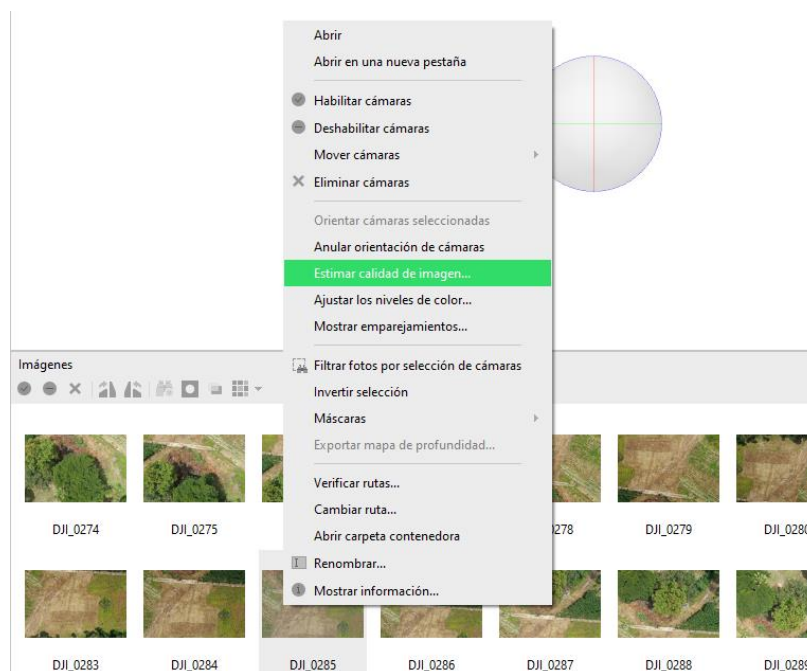


Figura 136. Estimar calidad de imagen.

(Fuente: Creación propia)

- b) Se abrirá una nueva ventana en la que debemos seleccionar la opción de “Todas las cámaras” y luego dar clic en aceptar ver figura 137 e iniciará el proceso de análisis de las imágenes ver figura 138.

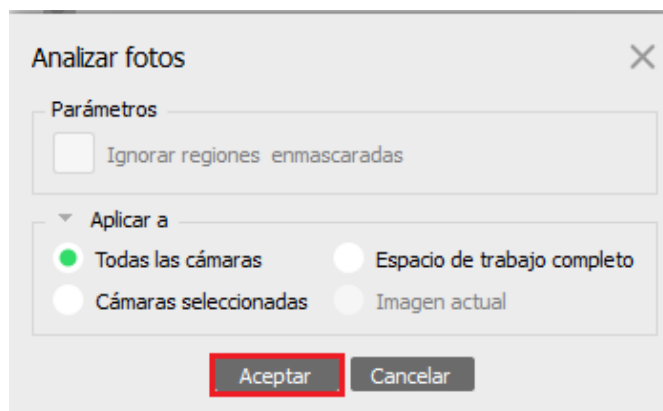


Figura 137. Analizar fotos.

(Fuente: Creación propia)

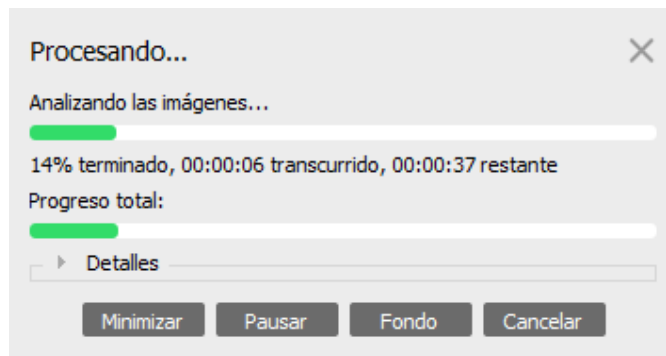


Figura 138. Procesamiento de análisis de calidad de imágenes.

(Fuente: Creación propia)

- c) Una vez finalizado el análisis ingresamos al botón de “Cambiar tamaño de cromos” y seleccionamos la opción “Detalles” ver figura 139, se nos mostraran todos los detalles de cada fotografía donde podemos corroborar en la columna “Calidad” que todas las fotografías tengan un valor mayor al 0.8 para una mayor rapidez de verificación se puede ordenar las fotografías por la columna de calidad seleccionando que se ordenen del

menor al de mayor calidad, en este caso todas las fotografías cumplen el estatus de calidad mayor que 0.80 siendo la de menor calidad con un valor de 0.829809 ver figura 140.

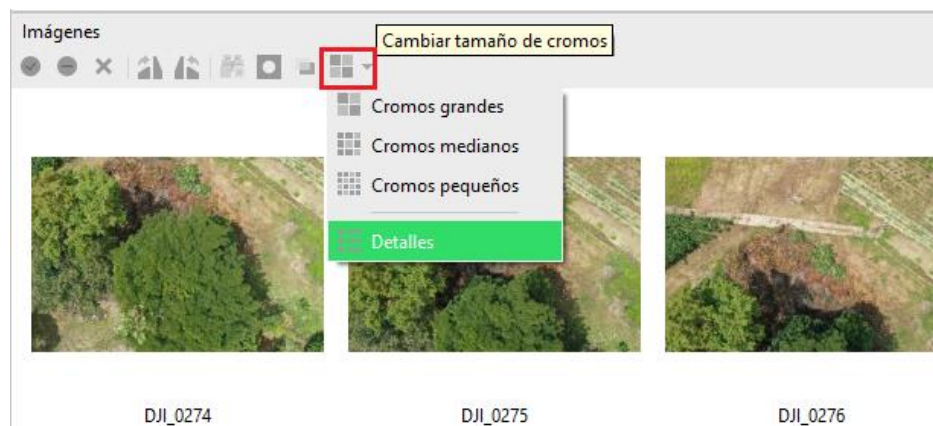


Figura 139. Cambiar tamaño de cromos.

(Fuente: Creación propia)

Etiqueta	Tamaño	Orientada	Calidad	Fecha y hora	Fabricante	Modelo	Distancia focal	F-stop	ISC
DJI_0326	5472x3648		0.829809	2021:08:19 10:20...	Hasselblad	L1D-20c	10.26	F/5.6	100
DJI_0324	5472x3648		0.831832	2021:08:19 10:20...	Hasselblad	L1D-20c	10.26	F/5.6	100
DJI_0299	5472x3648		0.833789	2021:08:19 10:19...	Hasselblad	L1D-20c	10.26	F/5.6	100
DJI_0297	5472x3648		0.834012	2021:08:19 10:19...	Hasselblad	L1D-20c	10.26	F/5.6	100
DJI_0294	5472x3648		0.834087	2021:08:19 10:19...	Hasselblad	L1D-20c	10.26	F/5.6	100
DJI_0380	5472x3648		0.834765	2021:08:19 10:23...	Hasselblad	L1D-20c	10.26	F/5.6	100
DJI_0325	5472x3648		0.835059	2021:08:19 10:20...	Hasselblad	L1D-20c	10.26	F/5.6	100
DJI_0298	5472x3648		0.836798	2021:08:19 10:19...	Hasselblad	L1D-20c	10.26	F/5.6	100
DJI_0293	5472x3648		0.836946	2021:08:19 10:19...	Hasselblad	L1D-20c	10.26	F/5.6	100
DJI_0382	5472x3648		0.83851	2021:08:19 10:23...	Hasselblad	L1D-20c	10.26	F/5.6	100
DJI_0295	5472x3648		0.838548	2021:08:19 10:19...	Hasselblad	L1D-20c	10.26	F/5.6	100
DJI_0381	5472x3648		0.838564	2021:08:19 10:23...	Hasselblad	L1D-20c	10.26	F/5.6	100
DJI_0296	5472x3648		0.839046	2021:08:19 10:19...	Hasselblad	L1D-20c	10.26	F/5.6	100
DJI_0323	5472x3648		0.839106	2021:08:19 10:20...	Hasselblad	L1D-20c	10.26	F/5.6	100

Figura 140. Detalles de calidad de las fotografías.

(Fuente: Creación propia)

En caso alguna fotografía se encontrará de menor calidad, se debe deshabilitar esa fotografía para evitar algún tipo de error en el procesamiento.

b) Ajuste de brillo y contraste

Otro de los procesos que se recomienda realizar antes de la orientación de las fotografías es el ajuste de brillo para ello realizamos los siguientes pasos:

- a) Clic derecho en menú Herramientas e ingresamos a la opción ajustar brillo ver figura 141.

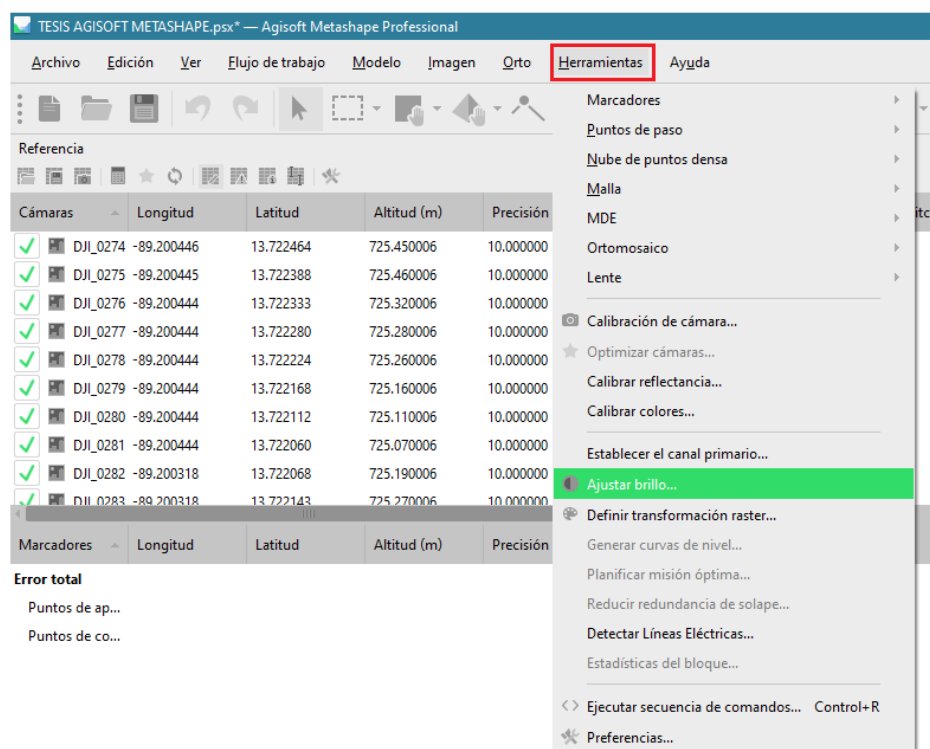


Figura 141. Ajustar brillo.

(Fuente: Creación propia)

- b) Se desplegará una nueva ventana seleccionamos la opción “Estimar auto” para que el software nos calcule cual es el brillo y contraste para cada imagen, en este caso recomienda 100% de brillo de imagen y 150% de contraste de imagen ver figura 142, hacemos clic en aceptar y

automáticamente se ajustara el brillo y el contraste de cada una de las fotografías.

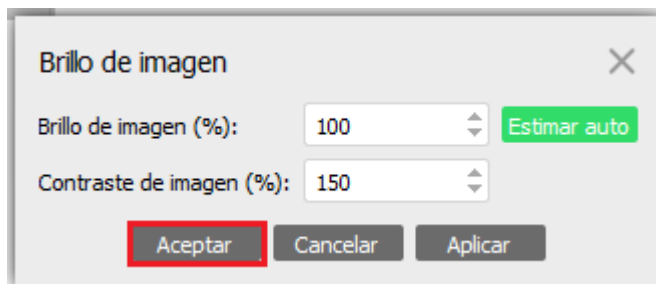


Figura 142. Brillo y contraste de imagen.

(Fuente: Creación propia)

### c) Creación de máscaras para objetos en movimiento

Para eliminar de las fotografías los elementos en movimiento y lograr un mejor procesamiento, debemos realizar los pasos siguientes:

- a) Damos doble clic en la primera fotografía donde se encuentra el elemento que no queremos considerar, esta se mostrara en grande ver figura 143.

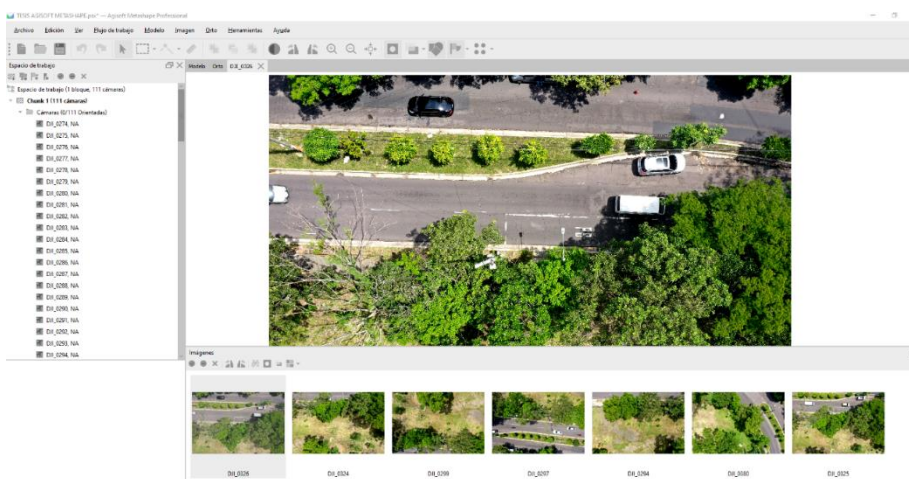


Figura 143. Vista de la fotografía en pantalla principal.

(Fuente: Creación propia)

- b) Luego desplegamos el listado de la opción de comandos de “Selección” y seleccionamos “Tijeras inteligentes” ver figura 144.

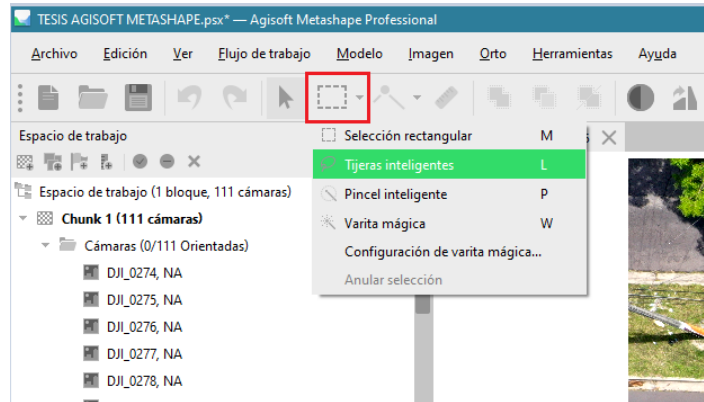


Figura 144. Comando de selección – Tijeras inteligentes.

(Fuente: Creación propia)

- c) Damos clic alrededor del contorno de la figura y para cerrar el vértice inicial con el final debemos dar doble clic izquierdo y luego damos clic derecho para elegir la opción “añadir selección” automáticamente se añadirá la máscara que garantizará que este objeto no sea considerado en ningún proceso ver figura 145.

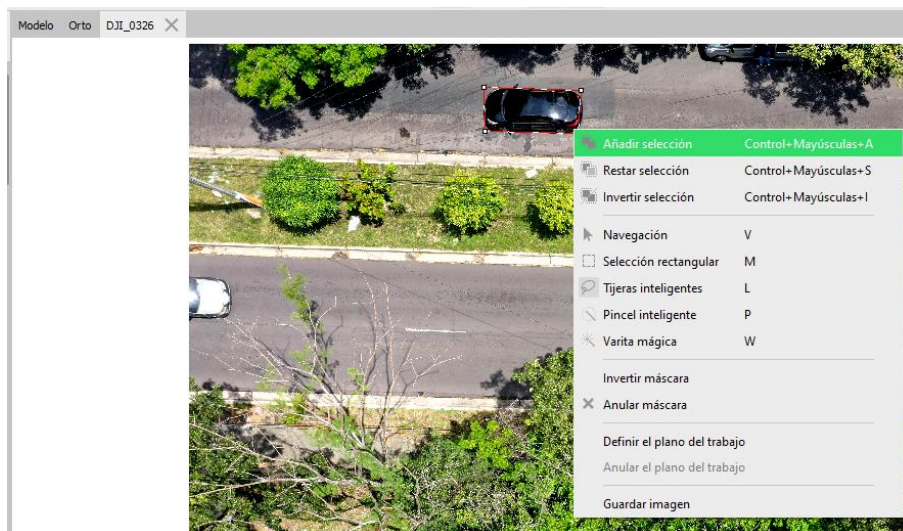


Figura 145. Añadir selección a la máscara.

(Fuente: Creación propia)

Este proceso se debe realizar en todas las fotografías donde aparece el objeto en movimiento y de igual manera este proceso se debe realizar para todos los objetos en movimiento de esta forma garantizamos que para la ortofoto final no saldrán estos objetos pero se debe considerar que en algunos casos no sale el objeto pero si puede salir su sombra ya que Agisoft no es un software especializado en edición de imagen, al crear estas mascarar también se garantiza que la orientación de las imágenes en algunos casos se pueda realizar de manera más optima.

#### 4.1.5 Orientación de las imágenes

Con la orientación básicamente el programa encuentra los puntos comunes o puntos homólogos entre las fotografías solapadas, para comenzar este proceso debemos ingresar en el menú de flujo de trabajo y seleccionar la opción orientar fotos ver figura 146.

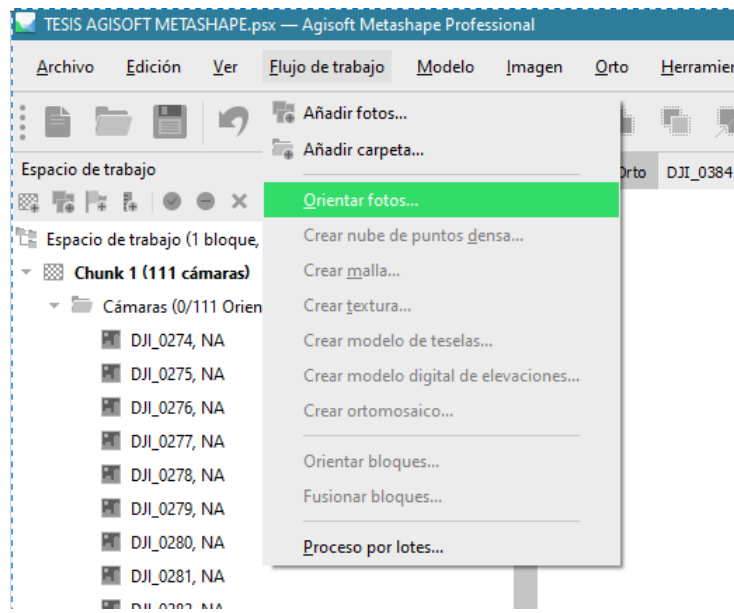


Figura 146. Orientar fotos.

(Fuente: Creación propia)

Se abre una nueva ventana en la que nos aparecen datos generales que debemos seleccionar como son el tipo de precisión que vamos a utilizar, lo más recomendable es elegir las opciones máxima o alta esto para que la orientación sea más precisa pero se debe considerar que el tiempo de procesamiento será mayor, para vuelos con buen solape y traslapes ejemplo 70% se recomienda dejar seleccionada la opción alta ya que los resultados serán prácticamente los mismos que con la opción máxima pero el tiempo de procesamiento será menos, para las siguientes opciones brindadas en el menú se debe desmarcar la opción de "Pre-selección genérica" ya que esta se utiliza para el caso que las fotografías no tengan geolocalización, también se debe desmarcar la opción de "Anular orientación de cámaras actuales" ya que si nos interesa que se tome la orientación de la cámara y la opción de "Pre-selección" de referencia se debe dejar marcada y seleccionada la parte que indica "Origen" con eso se garantiza que las características y la geolocalización de las fotos se utilizarán para la orientación, para las opciones avanzadas para puntos clave y de paso por foto se recomienda dejar los datos que aparecen por defecto dado que si se aumentan estos valores se podría crear un modelo más robusto y el tiempo de procesamiento será mayor, en la opción de máscaras se debe aplicar a puntos de paso ya que de esta manera se garantiza que solo se eliminen los puntos que involucre a un objeto en movimiento y no a las áreas totales como pasaría si se selecciona que se aplique a los puntos clave, se deben dejar desmarcadas las opciones "Excluir puntos de paso inmóviles" y "Emparejamiento guiado"

finalmente se debe seleccionar la opción de “ajuste adaptativo del modelo de cámara” esto para que considere un ajuste en base al modelo de cámara utilizada en el vuelo, una vez seleccionadas estas opciones ver figura 147.

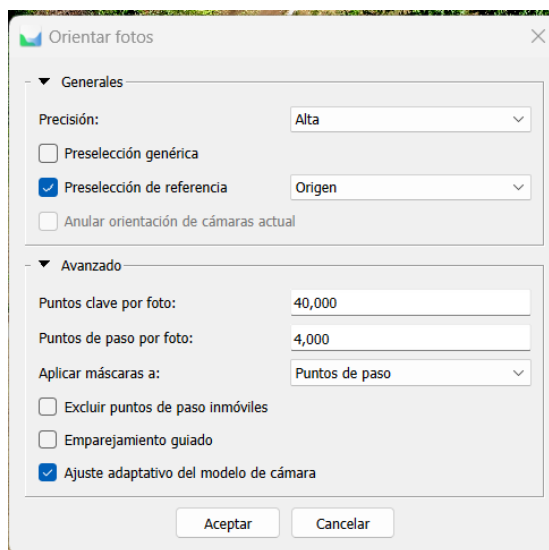


Figura 147. Opciones seleccionadas para orientación de fotos.

(Fuente: Creación propia)

Una vez seleccionadas las opciones anteriores se da clic en aceptar y automáticamente abre una nueva ventana donde indica que ha comenzado la orientación de las fotos, brindando el tiempo estimado de procesamiento ver figura 148.

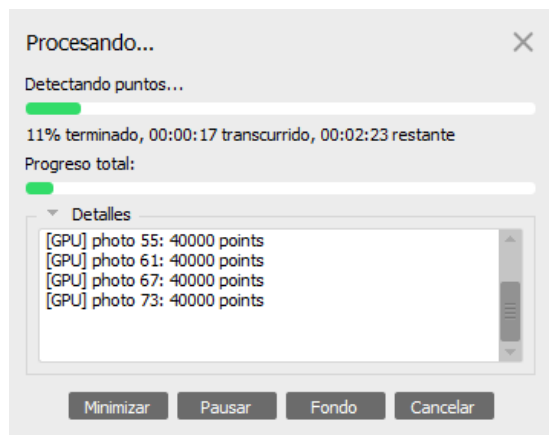


Figura 148. Procesamiento de orientación de fotografías.

(Fuente: Creación propia)

Una vez finalizado el procesamiento de la orientación de fotos el software genera lo que se conoce como nube de puntos dispersa del terreno levantado ver figura 149.

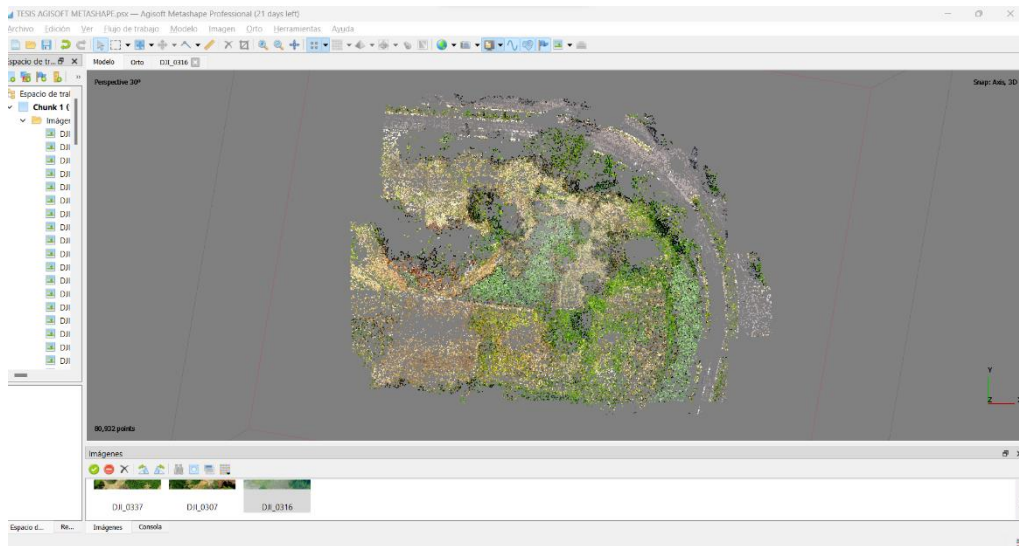


Figura 149. Nube de puntos dispersa.

(Fuente: Creación propia)

#### 4.1.6 Importar información de puntos de control

Para continuar el flujo de trabajo, se debe realizar la carga de los puntos de control fotogramétricos levantados con método RTK, esto se realiza de la siguiente manera:

- a) Como primer paso para la carga de esta información se debe verificar el contenido del archivo resultante del levantamiento con método RTK, para ello abrimos el archivo txt y observamos el orden con el que se registraron los datos, nombre de los puntos, las coordenadas de Este (X) y Norte (Y) y la elevación se debe tener cuidado de no confundir el orden de las coordenadas, ver figura 150.

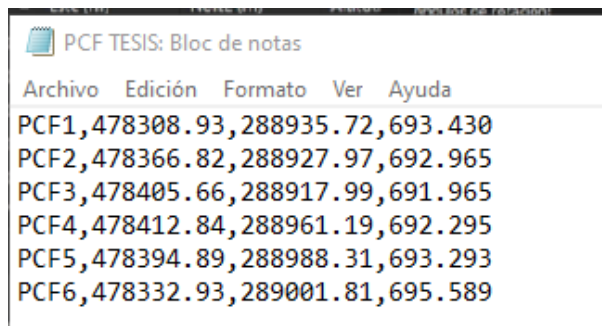


Figura 150. Archivo txt con datos de puntos de control fotogramétricos.

(Fuente: Creación propia)

- b) Para empezar a cargar el archivo hacemos clic en el botón importar que se encuentra en el panel de referencia en la parte superior izquierda, ingresamos a la carpeta donde guardamos inicialmente el archivo del levantamiento de los PCF y seleccionamos en abrir, ver figura 151.

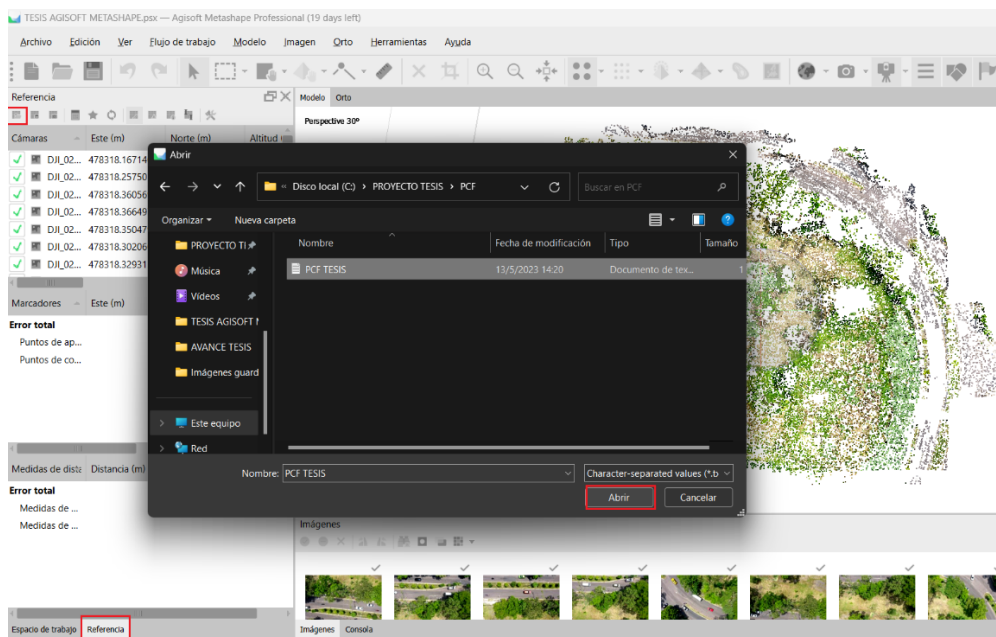


Figura 151. Carga de archivo txt de los PCF al proyecto.

(Fuente: Creación propia)

- c) Se abre una nueva ventana donde debemos seleccionar: el separador de las columnas, la posición de cada columna correspondiente a cada coordenada y se debe verificar que el sistema de coordenadas corresponda a los puntos de control, en este caso el sistema LAMBERT SIRGAS ES2007.8 creado en paso 4.1.3 una vez seleccionada los datos correspondientes se da clic en aceptar, ver figura 152.

Importar desde archivo de texto

Sistema de coordenadas  
LAMBERT SIRGAS ES2007.8

Ángulos de rotación:  
Guiñada, cabeceo, alabeo

Ignorar etiquetas  Umbral (m): 0.1

Carácter Separador  
 Tabulador  
 Punto y coma  
 Coma  
 Espacio  
 Otro:  
 Combinar separadores consecutivos

Columnas

Etiqueta:	1	Precisión	<input checked="" type="checkbox"/> Rotación	Precisión
Este:	2	8	Guiñada(Yaw):	5 9
Norte:	3	8	Cabeceo(Pitch):	6 9
Altitud:	4	8	Alabeo(Roll):	7 9
			Marca de habilitación:	10

Comenzar a importar en la fila: 1

Vista previa de las primeras 20 líneas:

Id del marcador	Este	Norte	Altitud	Guiñada(Yaw)	Cabeceo(Pitch)
1 PCF1	478308.93	288935.72	693.430		
2 PCF2	478366.82	288927.97	692.965		
3 PCF3	478405.66	288917.99	691.965		
4 PCF4	478412.84	288961.19	692.295		
5 PCF5	478394.89	288988.31	693.293		

Aceptar Cancelar

Figura 152. Configuraciones para cargar PCF en proyecto.  
(Fuente: Creación propia)

- d) Una vez dando clic en aceptar aparecerá un mensaje que indica que no existe el elemento y si se desea crear un marcador nuevo con el nombre del archivo, seleccionamos la opción “si a todo” para aceptar esta opción para todos los PCF ver figura 153, para importar los marcadores de los puntos de control y automáticamente se marcaran los puntos en la nube de puntos dispersa, ver figura 154.

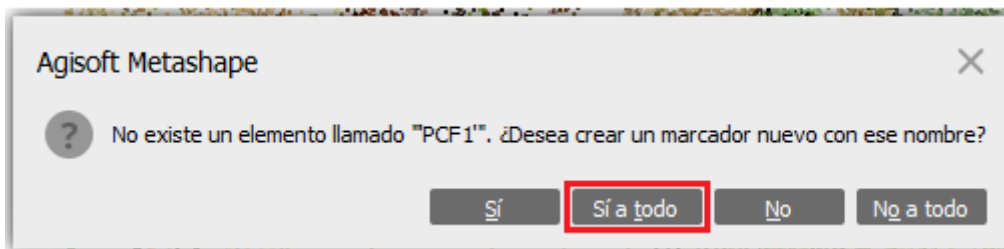


Figura 153. Creación de marcadores para los PCF.

(Fuente: Creación propia)

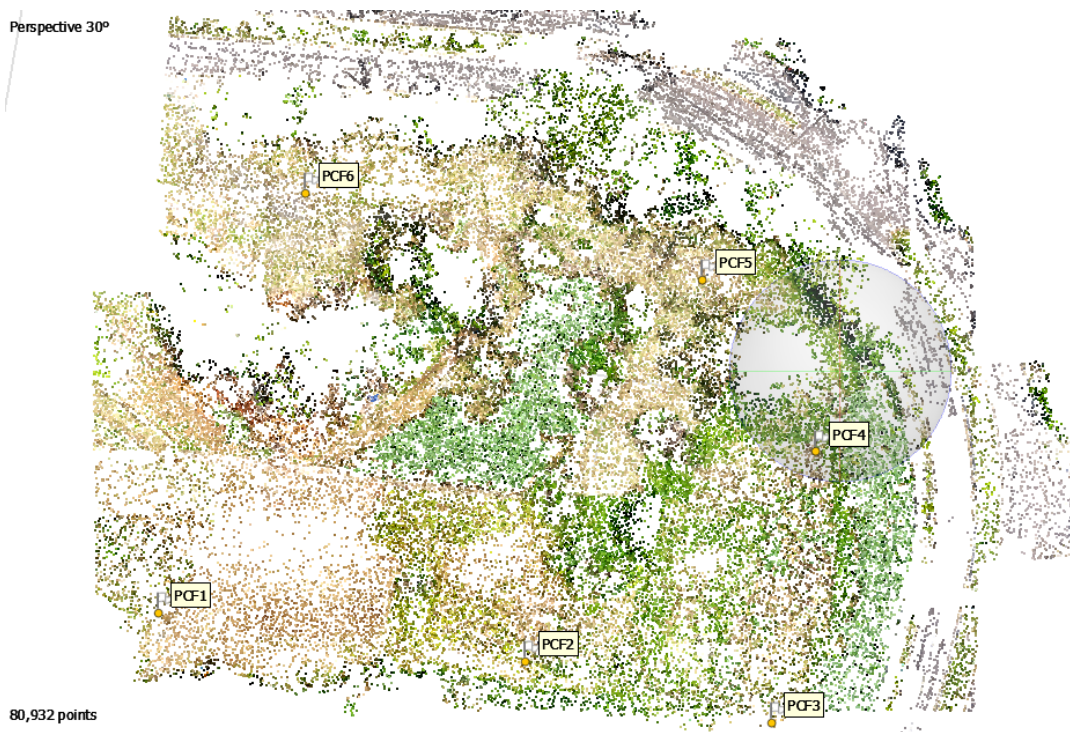


Figura 154. Marcadores de los PCF en nube de puntos dispersa.

(Fuente: Creación propia)

- e) Una vez seleccionada esta opción automáticamente se cargan los puntos de control fotogramétrico y se colocan unos marcadores en la nube de puntos dispersa generada en el paso 4.1.5, al hacer clic derecho sobre uno de los marcadores aparece una lista desplegable donde se puede

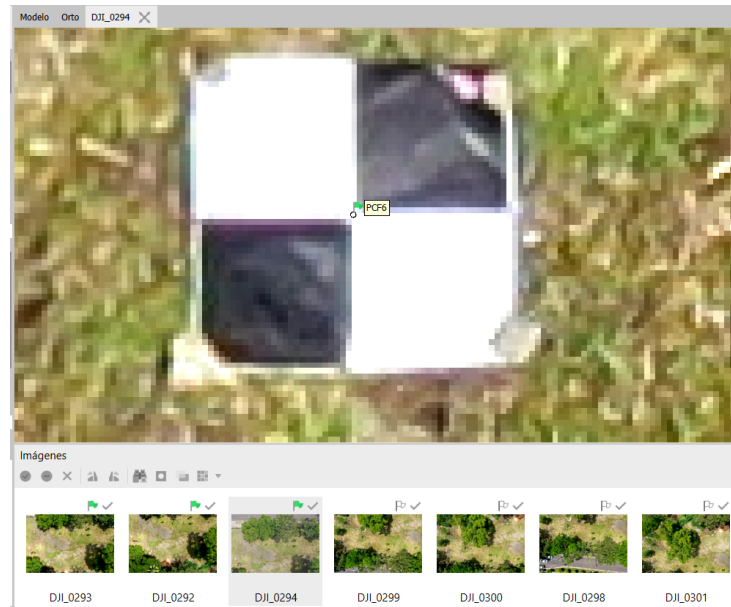
filtrar las fotos donde aparece ese PCF lo más recomendable es que el punto sea ajustado en 3 o más fotografías en las que se encuentra, ver figura 155.



Figura 155. Filtrar fotos por marcador.

(Fuente: Creación propia)

- f) Para ajustar los PCF se debe dar doble clic en cada fotografía hacer zoom recomendablemente hasta ver los pixeles y posteriormente mantener presionado el clic izquierdo en el marcador que se muestra en la fotografía y arrastrarlo hasta el punto central de las lonas que aparece en cada fotografía, una vez realizado esto el marcador se torna de color verde, indicando que el punto ha sido ajustado en la fotografía, ver figura 156.



*Figura 156. Ajuste de ubicación de marcadores de los PCF.*

*(Fuente: Creación propia)*

- g) Una vez definidos los puntos tenemos que dirigirnos hacia la tabla de fotografías, debemos seleccionar todas las fotografías y hacer clic derecho para desmarcarlas, importante el sistema de coordenadas de las fotos deben coincidir con las coordenadas de los puntos, en este caso ambas corresponden a un sistema métrico de Este y Norte, se da clic en botón de “optimizar cámaras” se abre una nueva ventana, en esa ventana se debe dejar los ángulos ya seleccionados por defecto ya que estos son los que Agisoft considera para la cámara de los drones DJI, ver figura 157, si se utiliza un sensor diferente se deben seleccionar los ángulos que se consideren necesarios, durante esta optimización Metashape ajusta las coordenadas de los puntos estimados y los parámetros de las cámaras, minimizando la suma del error de proyección y el error de desalineación

de las coordenadas de referencia, una vez finalizado el proceso se puede observar el error total luego de la optimización que es 0.022244, ver figura 158, este error corresponde al error de aerotriangulación y representa la diferencia entre las coordenadas ingresadas en el archivo de puntos de control y las coordenadas que ingresamos manualmente en las fotografías dentro del software.

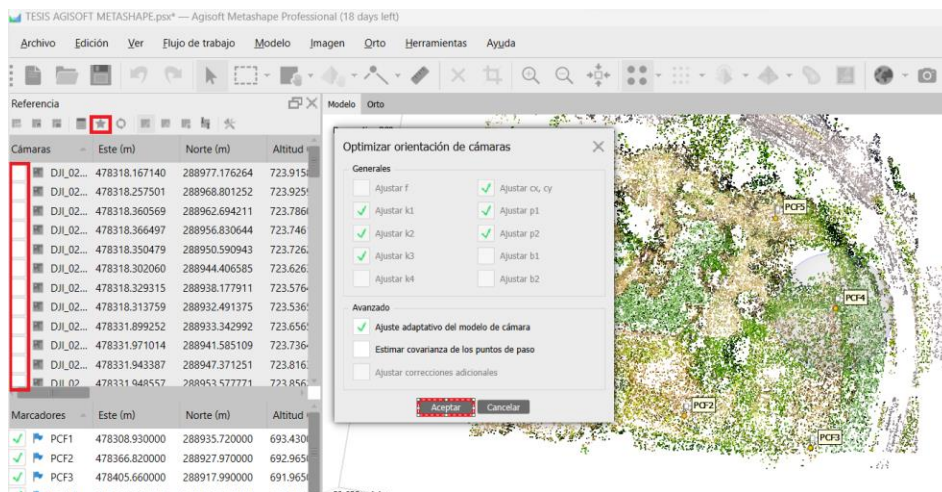


Figura 157. Optimizar orientación de cámaras.

(Fuente: Creación propia)

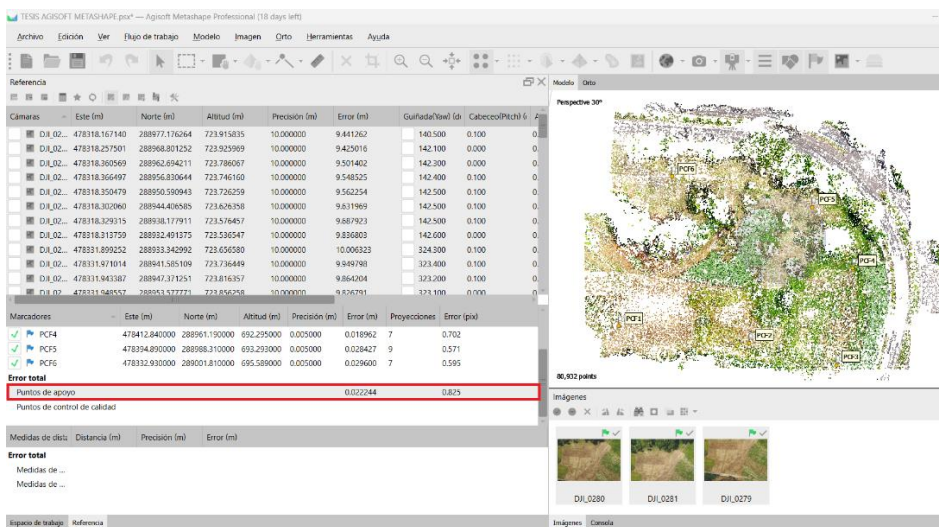


Figura 158. Error de puntos de apoyo.

(Fuente: Creación propia)

#### **4.1.7 Generación de nube de puntos densa**

Continuando con el flujo de trabajo en este punto se creará la nube de puntos densa a partir de la posición de las fotografías obtenidas en el alineamiento de fotos podemos generar una nube de puntos de mayor densidad, para este procedimiento realizamos los siguientes pasos:

- a) Ingresamos a flujo de trabajo y se selecciona la opción “Crear nube de punto...”, se abre una nueva ventana y se debe seleccionar la calidad la que deseamos realizar el procesamiento, la calidad extra alta y alta ofrecen mayor detalle y una geometría más precisa, mientras que la calidad media provoca una reducción de escala con un factor de 4, estas calidades son las recomendadas sin embargo llevan más tiempo de procesamiento y exigen más recursos a la computadora, las calidades baja y mínima reducen la escala original en un factor de hasta 16 lo que ocasiona que la nube de puntos final tenga menor detalle, la ventana también indica la opción “avanzadas” donde nos indica la opción de “filtrado de profundidad”, seleccionamos agresivo cuando la geometría a reconstruir es compleja con numerosos detalles por el contrario si el terreno a procesar es poco accidentado topográficamente, se puede seleccionar las opciones leve o moderado ya que se trata de filtros más suaves y el tiempo de procesamiento se reducirá también, para el caso de la opción “colorear puntos” la dejamos seleccionada ya que puede ser útil para clasificar la nube de puntos por color, una vez realizado este procedimiento damos clic en aceptar y automáticamente iniciara el procesamiento para crear

la nube de puntos densa, en la cual si se requiere se pueden realizar diferentes mediciones, para este proyecto dejamos seleccionado, las opciones “Alta” y “Moderado” ver figura 159.

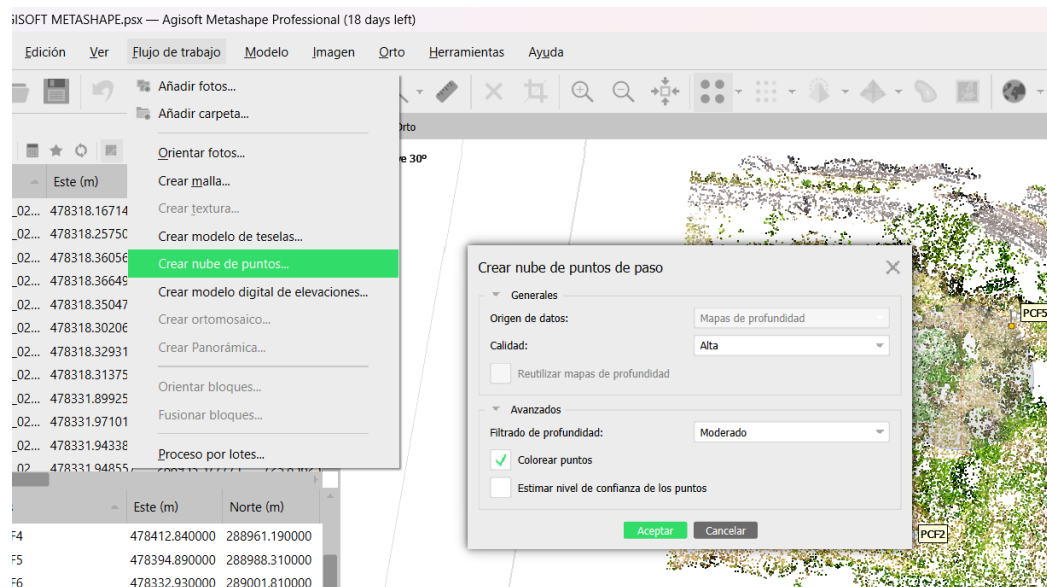


Figura 159. Creación de nube de puntos densa.

(Fuente: Creación propia)

Una vez seleccionando aceptar, el programa inicia el procesamiento y al finalizar muestra en espacio de trabajo dos nuevas opciones, la primera es Mapas de profundidad y la segunda es la nube de puntos, donde al seleccionarla con doble clic nos muestra en la pantalla principal un panorama más detallado del terreno levantado, ver figura 160.

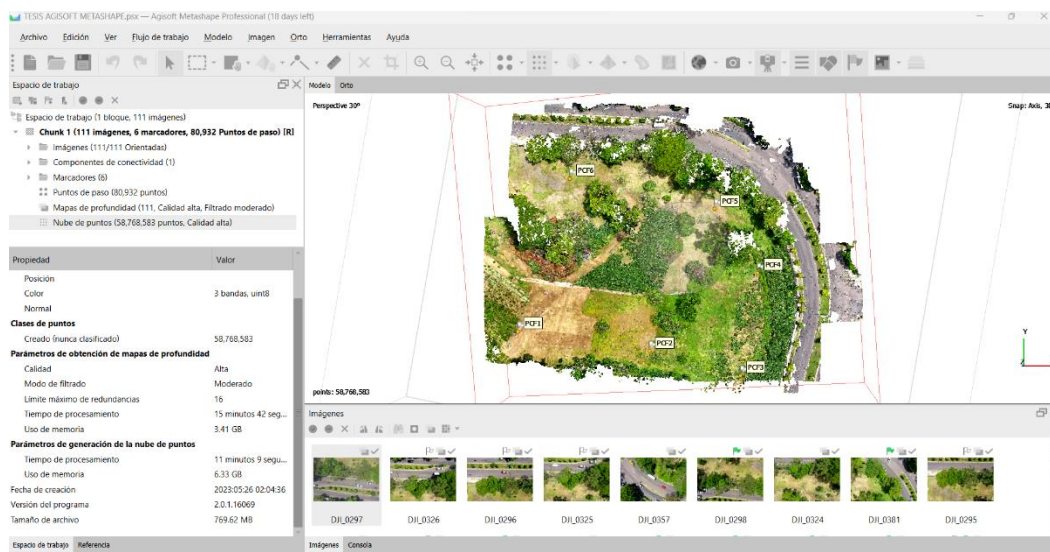


Figura 160. Nube de puntos densa.

(Fuente: Creación propia)

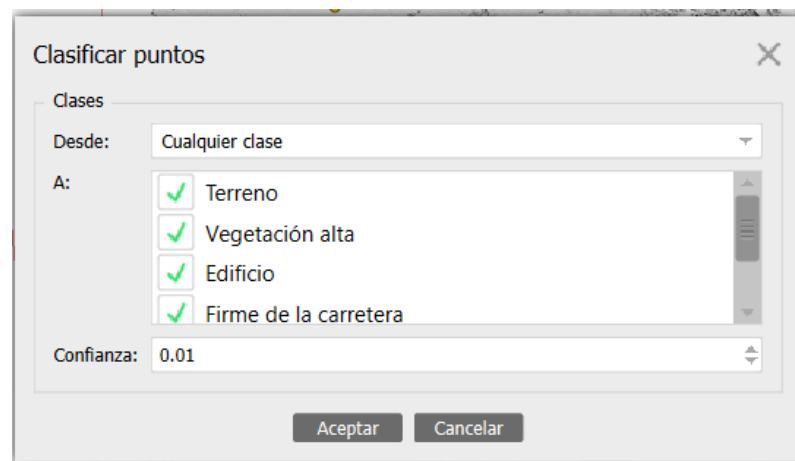
#### 4.1.8 Clasificación de la nube de puntos

La clasificación de puntos es un proceso necesario para generar el modelo digital del terreno que es el recomendado para poder rectificar la ortofoto final, con la nube de puntos sin clasificar solo se puede generar el modelo digital de superficie que involucra todos los elementos presentes en el terreno como árboles, casa, entre otros.

Para clasificar la nube de puntos se tienen varias opciones:

- a) Clasificación automática de los puntos: Mediante un algoritmo el programa le asigna a cada punto una clase correspondiente, para comenzar una clasificación automática ingresamos a herramientas, luego nube de puntos densa y damos clic en “clasificar puntos” y se habilita una nueva ventana donde debemos seleccionar las opciones que se requieren

para que se clasifiquen automáticamente, seleccionamos desde “cualquier clase” a seleccionamos todas las opciones disponibles para realizar una clasificación más completa y en confianza colocamos un valor que vaya desde 0 hasta 1, si el valor es más próximo a 1 significa que si el software no lo considera propio para alguna de las clases no clasificara el punto, por tanto seleccionaremos una confianza de 0.01, ver figura 161.



*Figura 161. Clasificación automática de nube de puntos.*

*(Fuente: Creación propia)*

Una vez seleccionadas las opciones anteriores se realiza clic en aceptar y se espera a que se realice la clasificación automática, al finalizar podemos observar la clasificación realizada al ingresar a la opción “nube de puntos densa” y seleccionamos la opción “clase de puntos” y se mostraran los puntos de suelo ya clasificados en figura 162.

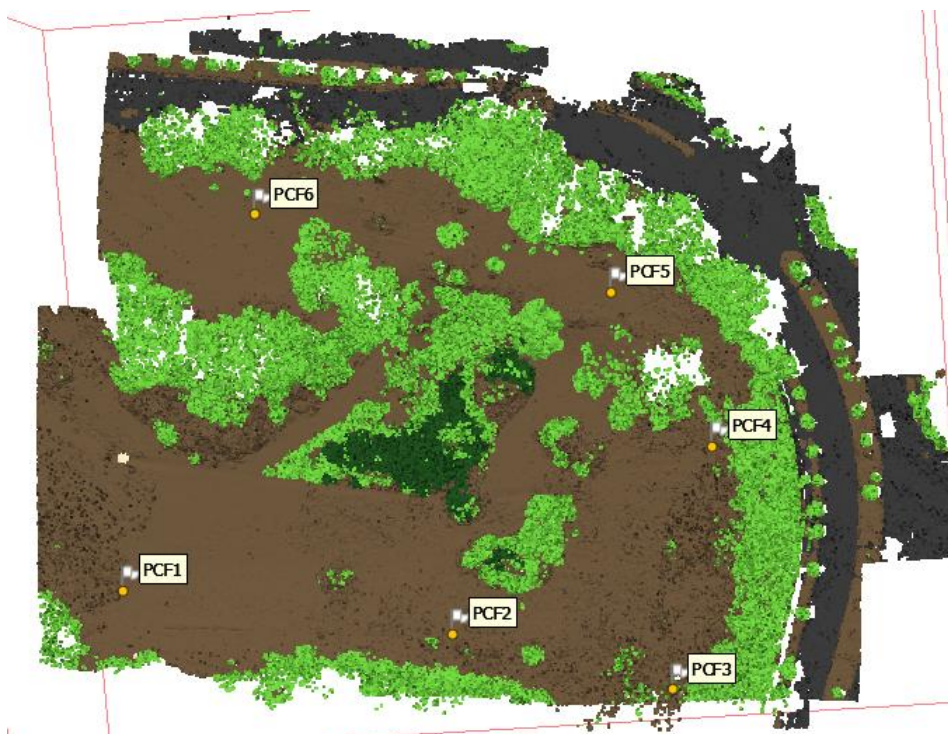


Figura 162. Nube de puntos densa clasificada automáticamente.

(Fuente: Creación propia)

Esta es la opción que utilizamos para este proyecto, sin embargo, existen las siguientes formas para realizar la clasificación.

- b) Clasificar puntos de terreno: ingresamos al menú herramientas y seleccionamos la opción nube de puntos densa, la primera opción es “clasificar puntos de terreno” es la que se recomienda ver figura 163, con esta clasificación el software lo que realizará es encontrar los puntos que considere corresponden únicamente al suelo, esto lo realiza según los parámetros que le indiquemos.

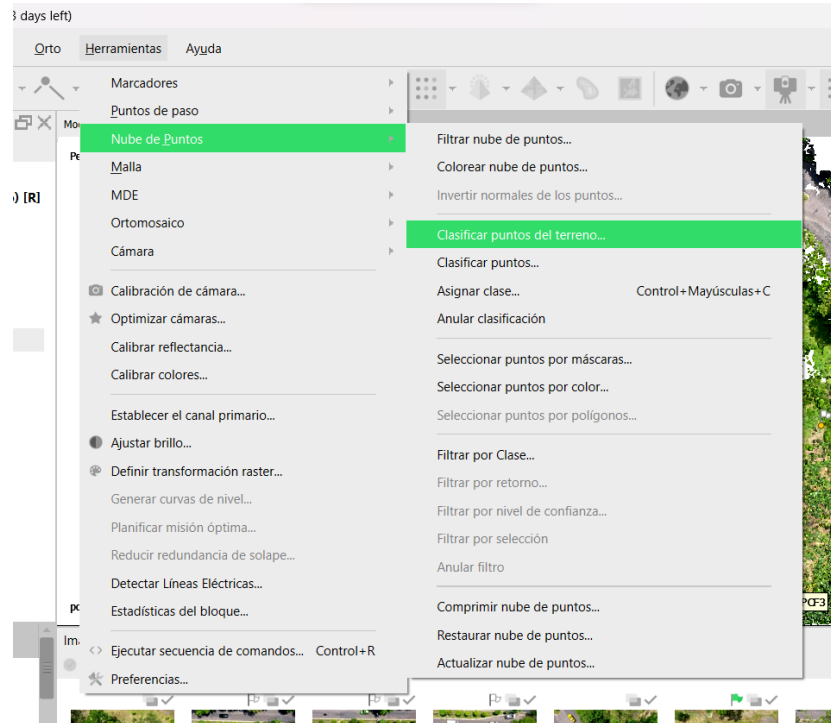


Figura 163. Clasificar puntos del terreno.

(Fuente: Creación propia)

Al dar clic en esta opción se habilita una nueva ventana en la que se debe realizar la configuración para la clasificación, los parámetros a establecer son los siguientes:

- **Clase:** se debe dejar la opción desde “cualquier clase” a “Terreno + Puntos bajos” esta configuración indica que se evaluarán todos los puntos de la nube y aquellos que estén dentro de los parámetros establecidos se clasificarán como suelo.
- **Angulo máximo:** establece una limitación para un ángulo entre el modelo de terreno y la línea para conectar el punto en cuestión con un punto de una clase de terreno, para terrenos casi planos, se recomienda utilizar el valor predeterminado de 15°, para otro tipo

de zonas es razonable establecer un valor más alto si el terreno posee pendientes pronunciadas.

- Distancia máxima: es la diferencia de elevación entre dos puntos sucesivos del terreno, para terrenos planos debería de estar entre 0.005m y 0.15m.
- Tamaño de célula: que corresponde al tamaño de cada cuadrícula en metros que básicamente sería el tamaño o porción de la nube que sería evaluada en cada proceso de clasificación, su valor depende del elemento más grande de la nube de puntos exceptuando elementos que corresponden al suelo, para determinar un aproximado se mide en la nube el objeto que se considere más grande ver figura 164.

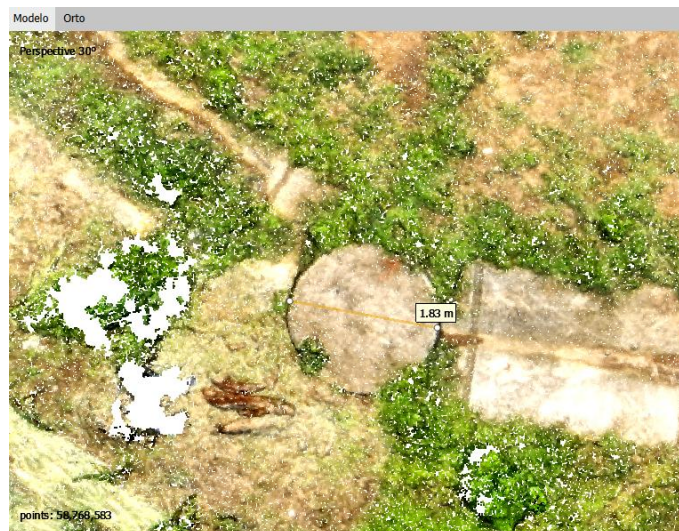


Figura 164. Objeto más grande en el terreno.

(Fuente: Creación propia)

- Radio de erosión: este determina la sangría (en metros) de puntos no clasificados para crear un área adicional alrededor del objeto,

es útil al clasificar casas y árboles para excluir los "tocones" restantes cuando se construye el modelo digital de elevación.

- Numero de retorno: Determina qué capa de devolución usar durante la clasificación (Cualquier devolución, Primera devolución o Última devolución). Por lo general, para los escaneos láser, el primer retorno es el retorno más significativo y se asociará con la característica más alta del paisaje (árboles, edificios, etc.). Es posible especificar el uso de Primera devolución o Última devolución. Utilice el parámetro "Cualquier retorno" para realizar la clasificación en todos los niveles de devolución.

De esta manera se realiza la clasificación del terreno con los parámetros asignados debido a las características del terreno a proyectar ver figura 165.

Clasificar nube de puntos

Clases

Desde: Cualquier clase

A: Terreno + Puntos bajos

Conservar puntos de terreno existentes

Parámetros

Ángulo máximo (deg): 30.0

Distancia máxima (m): 1

Tamaño de célula (m): 2

Radio de erosión (m): 0

Número de retorno: Cualquier retorno

Aceptar Cancelar

Figura 165. Clasificación de nube de puntos.

(Fuente: Creación propia)

se da clic en aceptar y automáticamente se comenzaran a clasificar los puntos del suelo, la duración de este proceso depende del tamaño de la nube de puntos, una vez finalizado para ver la clasificación ingresamos a la opción “nube de puntos densa” y seleccionamos la opción “clase de puntos” y se mostraran los puntos de suelo ya clasificados, se debe saber que esta clasificación se puede reclasificar y ya no se debe seleccionar en vez de “cualquier clase” se debe colocar “terreno” y se podrían ir ingresando otros parámetros que mejoren la clasificación inicial, al realizar este proceso los puntos que están clasificados como terreno serán los únicos que se tomaran en cuenta.

- c) Clasificación manual: Ingresamos a herramientas de selección, seleccionamos por forma libre y con el clic izquierdo del mouse presionado se va dibujando el área que se quiere reclasificar, una vez dibujada el área damos clic derecho y en la opción de asignar clase seleccionamos lo que se quiere reclasificar, en este caso “terreno” este mismo procedimiento se puede aplicar a puntos que se encuentran clasificados en otra clase que no corresponde, ver figura 166.

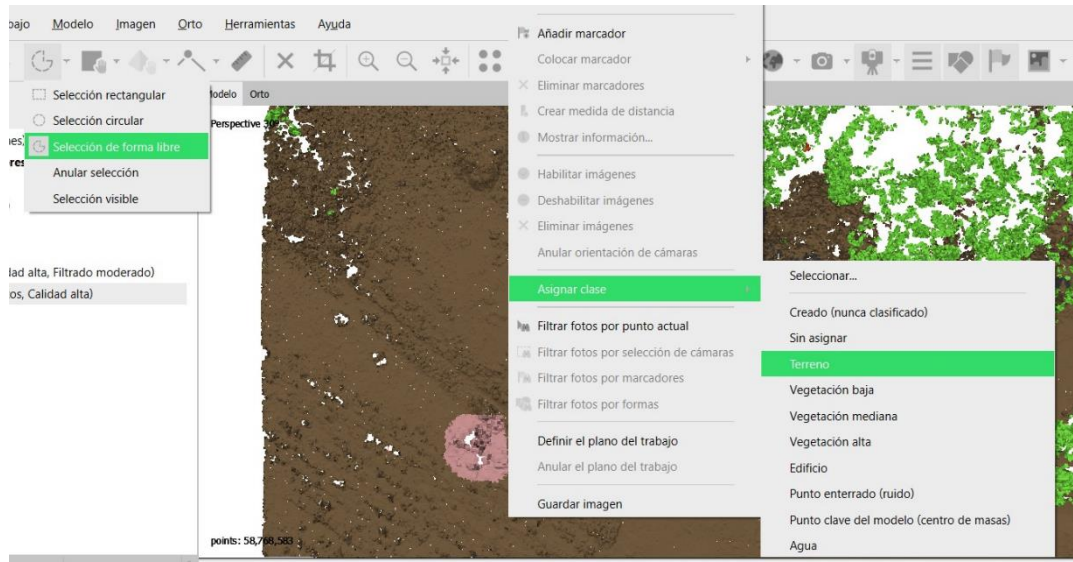


Figura 166. Clasificación manual de nube de puntos.

(Fuente: Creación propia)

d) Clasificación de puntos por color: Esta clasificación se realiza de acuerdo a la similitud de color que poseen los puntos en la nube de puntos densa, para realizar este proceso se realiza el siguiente procedimiento.

- Se ingresa a la opción “Herramientas”, luego en “Nube de puntos” y después “Seleccionar puntos por color...” ver figura 167.

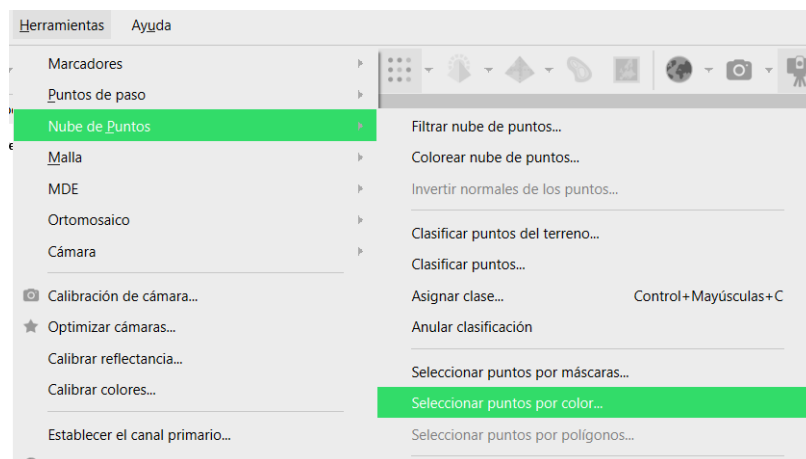


Figura 167. Seleccionar puntos por color.

(Fuente: Creación propia)

- Se habilita una nueva ventana donde se debe seleccionar los colores correspondientes a las clases, así como la tolerancia que se utilizara la clasificación, por defecto el programa toma los colores Rojo, Verde y Azul ya que estamos trabajando con una imagen RGB, ver figura 168.

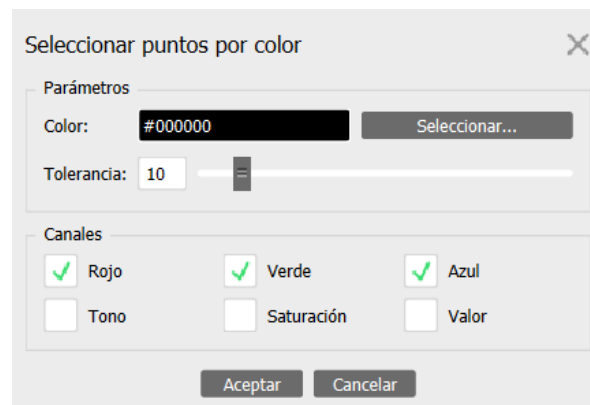


Figura 168. Configuración de puntos por color.

(Fuente: Creación propia)

- Ingresamos en la opción “Seleccionar...” para que habilite una nueva ventana donde podremos seleccionar un color de la nube de puntos, dando clic en “Tomar un color de la pantalla” y seleccionamos el color que queremos clasificar, ver figura 169, una vez seleccionado el color se da clic en aceptar y automáticamente el programa selecciona todos los puntos con color similar, para asignar clase únicamente se da clic derecho sobre los puntos seleccionados y se ingresa a “Asignar clase” y se selecciona la clase a la cual queremos asignar esos puntos ver proceso en figura 166.

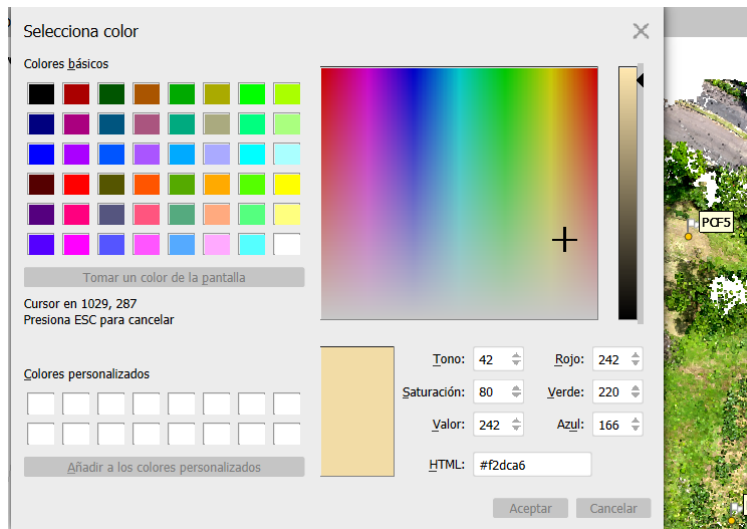


Figura 169. Tomar un color de la pantalla para clasificar.

(Fuente: Creación propia)

Para poder ver únicamente un tipo de clase en la nube de puntos podemos ingresar en “Herramientas”, luego en “Nube de puntos” y luego la opción “Filtrar por clase”, aparecerá una ventana con todas las clases que se encuentran clasificadas en el terreno, para ver en específico una clase, solamente dejamos seleccionada la clase en interés y damos clic en aceptar, ver figura 170.

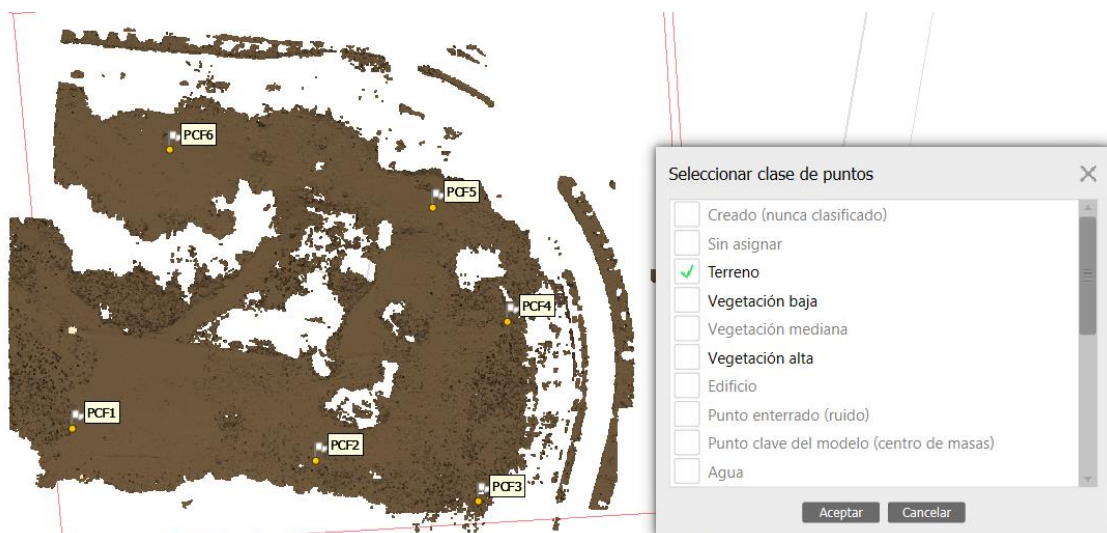


Figura 170. Filtrar vista por clase.

(Fuente: Creación propia)

#### 4.1.9 Generación de malla y textura

Después de que se ha reconstruido la nube de puntos densa es posible generar un modelo de malla, este paso se puede omitir si no se requiere un modelo tridimensional como resultado final para construir la malla se realizan los siguientes pasos:

- a) Ingresar a “Flujo de trabajo” luego se selecciona la opción “Crear malla”, realizará un análisis de la nube de puntos y luego abrirá una nueva ventana con los ajustes a seleccionar para la creación de la malla, ver figura 171.

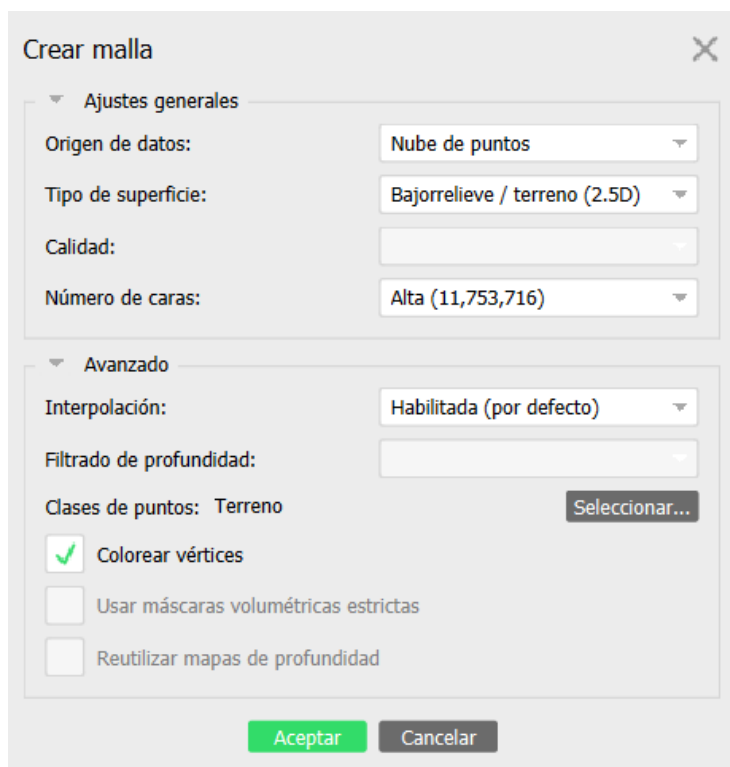


Figura 171. Parámetros para creación de malla 3D.

(Fuente: Creación propia)

Los parámetros a seleccionar para este proyecto son los siguientes:

- Origen de datos: Se selecciona Nube de puntos para este proyecto dará como resultado un tiempo de procesamiento más prolongado, pero generará resultados de alta calidad basados en la nube de puntos previamente reconstruida.
- Tipo de superficie: Se selecciona “Bajorrelieve / terreno (2.5D)”, esta opción es la recomendada para fotogrametría área, la opción “Arbitrario 3D” es para otro tipo de fotogrametría por ejemplo para la reconstrucción de infraestructuras.
- Numero de caras: se deja seleccionada “Alta (11,753,716) para que la malla final tenga mayor detalle.
- Interpolación: Se deja seleccionada “Habilitada (por defecto)” esto sirve mayormente para que el software rellene las zonas con huecos.
- Clase de puntos: dejamos seleccionado “Terreno” ya que solo deseamos generar una malla para el terreno, en caso se necesitará crear una malla con todos los elementos se deben dejar seleccionadas todas las clases clasificadas.

Finalmente, la opción de “colorear vértices” se deja seleccionado y se selecciona clic en aceptar, de esta manera automáticamente se iniciará la creación de la malla, una vez finalizado el proceso se puede observar la malla en la pantalla principal ingresando en las opciones de “Modelo”, ver figura 172.

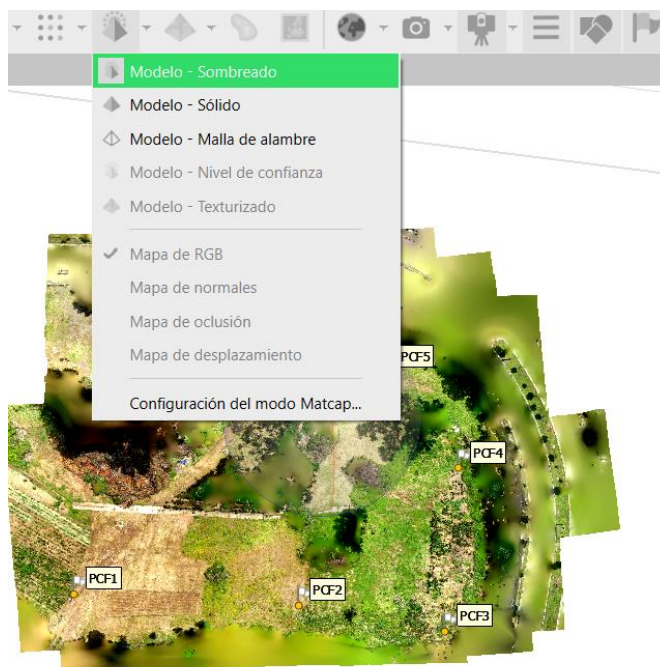


Figura 172. Malla 3D.

(Fuente: Creación propia)

Una vez creada la malla también se puede mejorar visualmente ingresando en las opciones de “Herramientas”, luego en malla y aparecen varias opciones como, “Refinar malla”, “Reducir malla”, “Suavizar malla”, “Cerrar agujeros”, entre otros, ver figura 173.

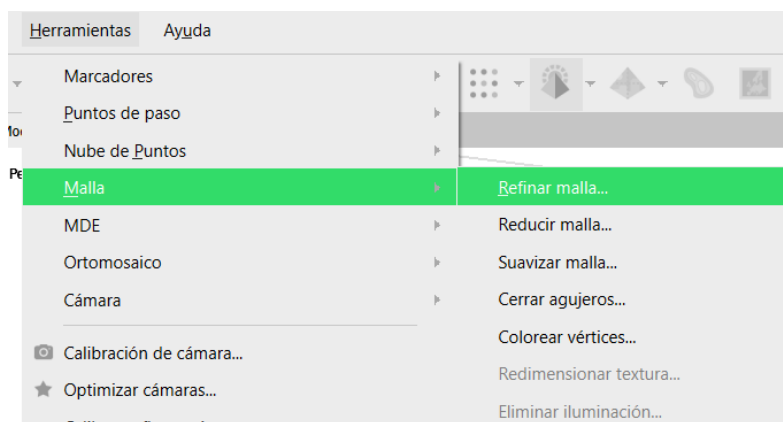


Figura 173. Opciones para mejorar visualmente Malla 3D.

(Fuente: Creación propia)

#### 4.1.10 Generación de MDE y MDT.

El modelo digital de elevaciones se puede generar en función de la nube de puntos densa o de la malla, por lo general se recomienda la nube de puntos densa ya que proporciona resultados más precisos y permite un procesamiento más rápido, para general el modelo digital de elevaciones realizamos los siguientes pasos:

- a) Ingresamos a opción “Flujo de trabajo” y seleccionamos la opción “Crear modelo digital de elevaciones” se habilita una nueva ventana donde se debe seleccionar el sistema de coordenadas en las que se encontrara nuestro MDE, automáticamente toma el sistema de coordenadas asignadas al proyecto personalizado en paso 4.1.3, LAMBERT SIRGAS ES2007.8, si se desea el MDE en otro sistema se puede cambiar al desplegar el listado, en este caso lo dejaremos por defecto ya que posee el sistema de coordenadas geográficos utilizado en el país.
- b) Para los parámetros, el origen de datos seleccionamos “Nube de puntos”, en Interpolación se deja “Habilitada (por defecto)” en caso que exista algún tipo de hueco el software lo pueda rellenar, en clase se selecciona “Todos” en Definir límites, se edita si se desea crear el modelo en un área limitada del proyecto, en este caso se dejara para todo el levantamiento y en Resolución y Tamaño total, se deja el dato que el programa calcula automáticamente de forma ideal para el proyecto y lo muestra por defecto, ver figura 174.

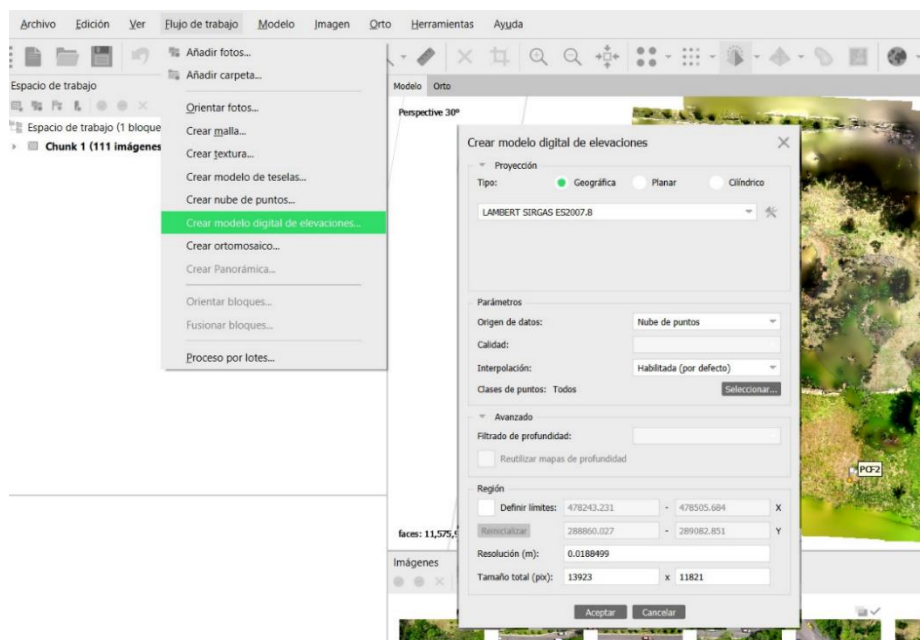


Figura 174. Parámetros para creación de MDE.

(Fuente: Creación propia)

Una vez seleccionados los parámetros anteriores, se da clic en aceptar y el programa genera el modelo digital de elevaciones, para observarlo en pantalla principal le damos doble clic al detalle “MDE (8637x6874, 1.88 cm/pix)” que aparece en el espacio de trabajo, ver figura 175.

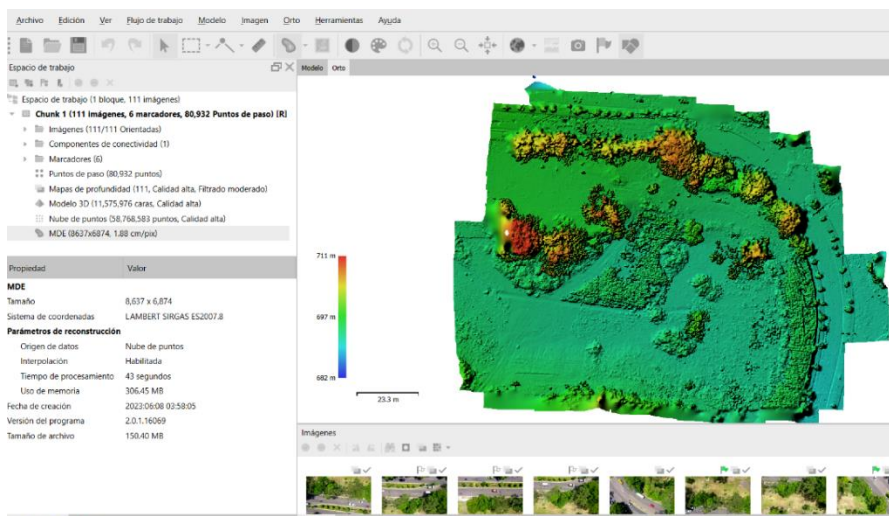


Figura 175. Modelo digital de elevaciones.

(Fuente: Creación propia)

Generado el MDE procedemos a la creación del Modelo Digital del Terreno, para eso duplicamos el MDE creado y lo renombramos “MDT”, realizamos los mismos pasos que para la creación del MDE con la excepción que en el parámetro “Clase de puntos” seleccionamos únicamente “Terreno”, ver figura 176.

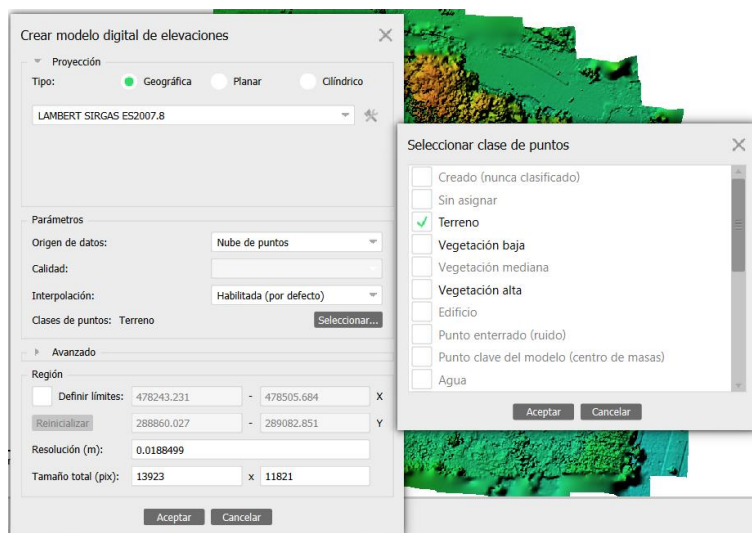


Figura 176. Parámetros para creación de MDT.

(Fuente: Creación propia)

Seleccionado los parámetros, nuevamente damos clic en aceptar y automáticamente el programa crea el MDT del proyecto, ver figura 177.

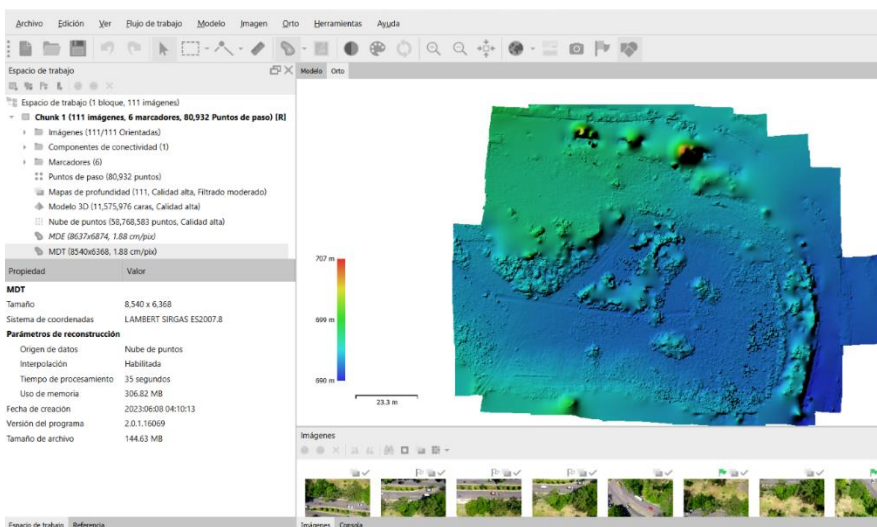


Figura 177. Modelo digital de terreno.

(Fuente: Creación propia)

#### 4.1.11 Generación de Ortomosaico

Un Ortomosaico como ya conocemos es una imagen georreferenciada en la que la distorsión geométrica se ha corregido y ortorectificado con ayuda de un modelo, sobre la ortofoto se pueden realizar diferentes medidas de gran precisión y sirve como base para cualquier tipo de sistemas de información geográfica, para construir la ortofoto final realizamos los siguientes pasos:

- a) Ingresamos a la opción “Flujo de trabajo” y seleccionamos la opción “Crear Ortomosaico” se habilita una nueva ventana donde se debe seleccionar el sistema de proyección, automáticamente el programa selecciona el sistema personalizado en paso 4.1.3, LAMBERT SIRGAS ES2007.8.
- b) Luego en parámetros seleccionamos en tipo de Superficie que se utilizara para generar la ortofoto, se puede seleccionar el MDE o la malla 3D, en este caso seleccionaremos el MDE, en modo de Mezcla dejamos la opción “Mosaico” ya que nos interesa que la ortofoto final se genere de todas las fotografías orientadas inicialmente, Se deja seleccionada la opción “Refinar líneas de costura” esto permite que se haga un refinamiento de las líneas que nos permitirá más adelante la edición manual del Ortomosaico, para el caso de “Permitir el cierre de agujeros” de igual manera se deja seleccionado, también se puede cambiar el tamaño de pixel si así lo deseamos, en este caso Agisoft sugiere que el tamaño de pixel mínimo sea más de 0.009 metros y para finalizar se puede definir los limites en caso que se quiera generar solamente un área específica del

levantamiento, es de tener en cuenta que el modelo que tomara como referencia el programa será el que se está mostrando en la vista (pantalla principal) o que esta seleccionado por defecto, una vez asignados los parámetros indicados ver figura 178.

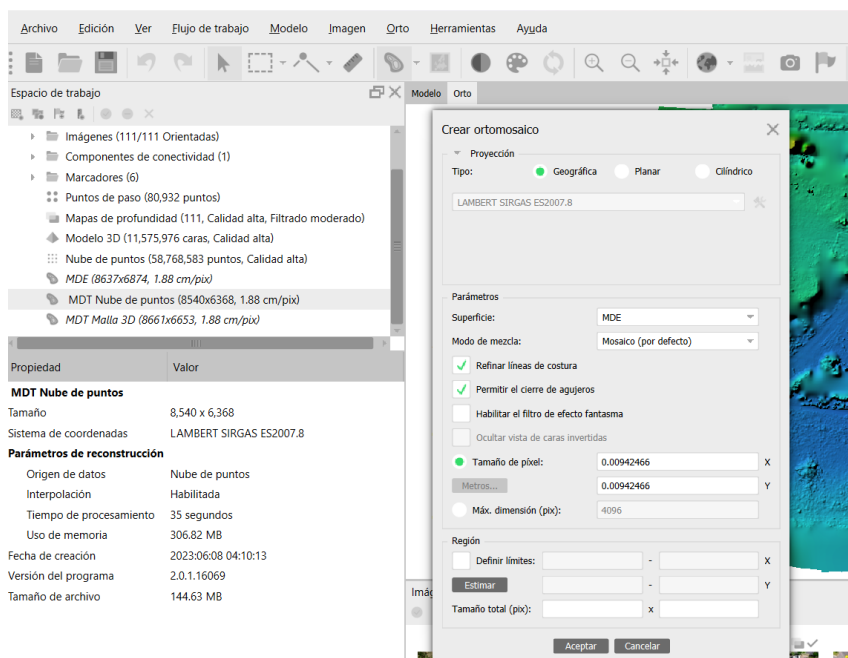


Figura 178. Parámetros para creación de Ortomosaico.

(Fuente: Creación propia)

Una vez asignados los parámetros se da clic en aceptar y se inicia el procesamiento para la creación de la ortofoto, a partir del MDT de la nube de puntos creado, que es el que se encontraba seleccionado como se observa en figura 185., una vez finalizado el procesamiento en el espacio de trabajo se muestra una nueva opción llamada “Ortomosaico”, al dar doble clic se muestra en pantalla principal la vista de la ortofoto creada, ver figura 179.

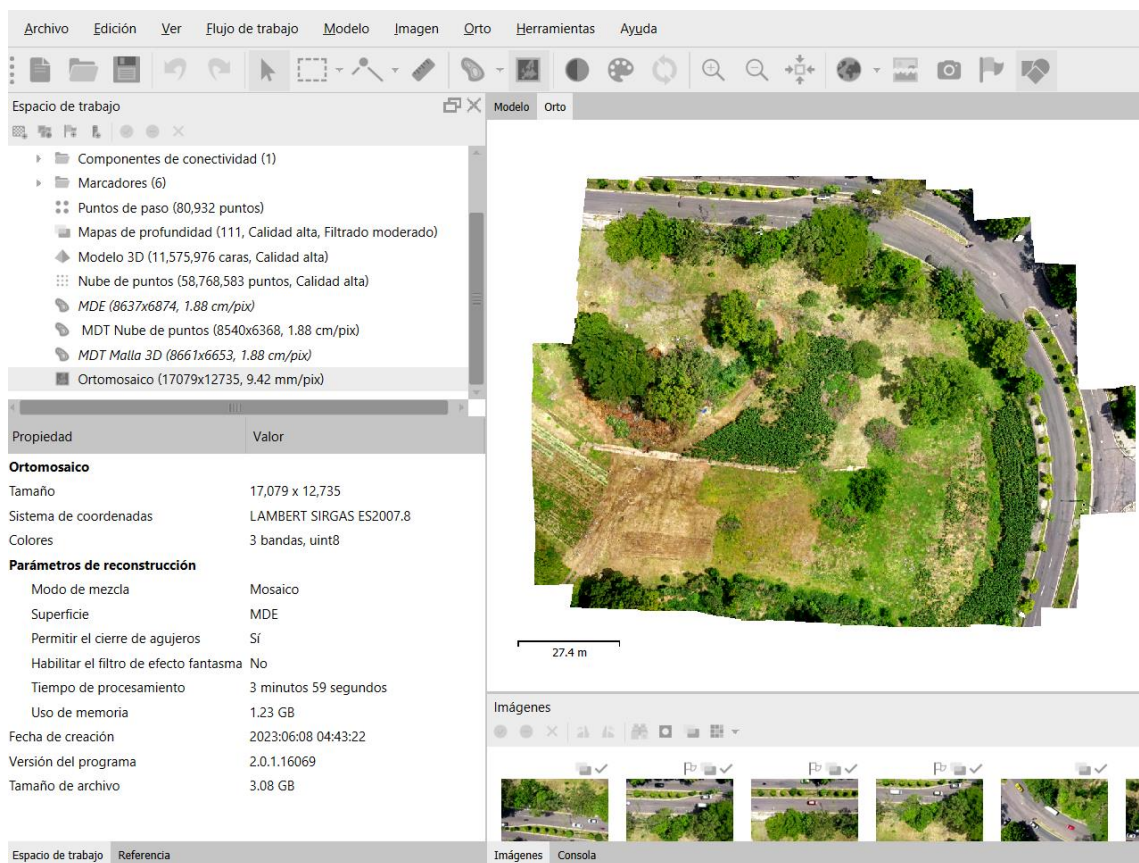


Figura 179. Ortomosaico.

(Fuente: Creación propia)

#### 4.1.12 Generar curvas de nivel

Para la creación de las curvas de nivel, simplemente damos clic derecho sobre el modelo digital de terreno en el espacio de trabajo y seleccionamos la opción "Generar curvas de nivel". Se habilita una nueva ventana para asignar los parámetros, en este caso la altura máxima y la altura mínima en metros las asigna de manera automática el programa. En el caso de la opción de equidistancia se ingresa el intervalo al cual deseamos ver las curvas de nivel, en este caso

asignaremos a cada 1 metro y se deja seleccionada la opción “Evitar intersecciones” entre las curvas y se presiona aceptar ver figura 180.

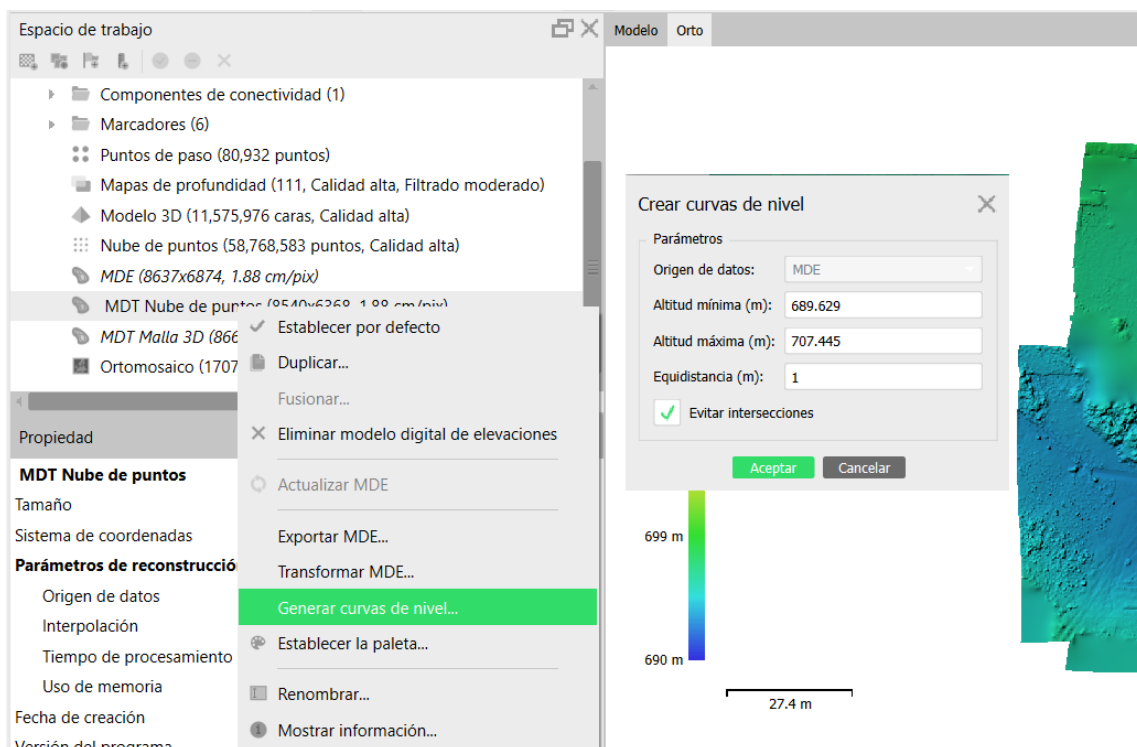


Figura 180. Parámetros para creación de curvas de nivel.

(Fuente: Creación propia)

Finalizado el procesamiento en la pantalla principal se muestra la vista de las curvas de nivel en el modelo digital de terreno, de forma predeterminada aparecen las curvas con sus respectivas etiquetas, para deshabilitar o habilitar las etiquetas ingresamos en espacio de trabajo desplegamos el listado en la opción formas y luego en contours damos clic derecho, luego seleccionamos propiedades y brindara una nueva ventana donde se puede configurar la vista de

las curvas, marcamos o desmarcamos la opción “Mostrar etiquetas de formas” según se prefiera y se selecciona aceptar, ver figura 181.

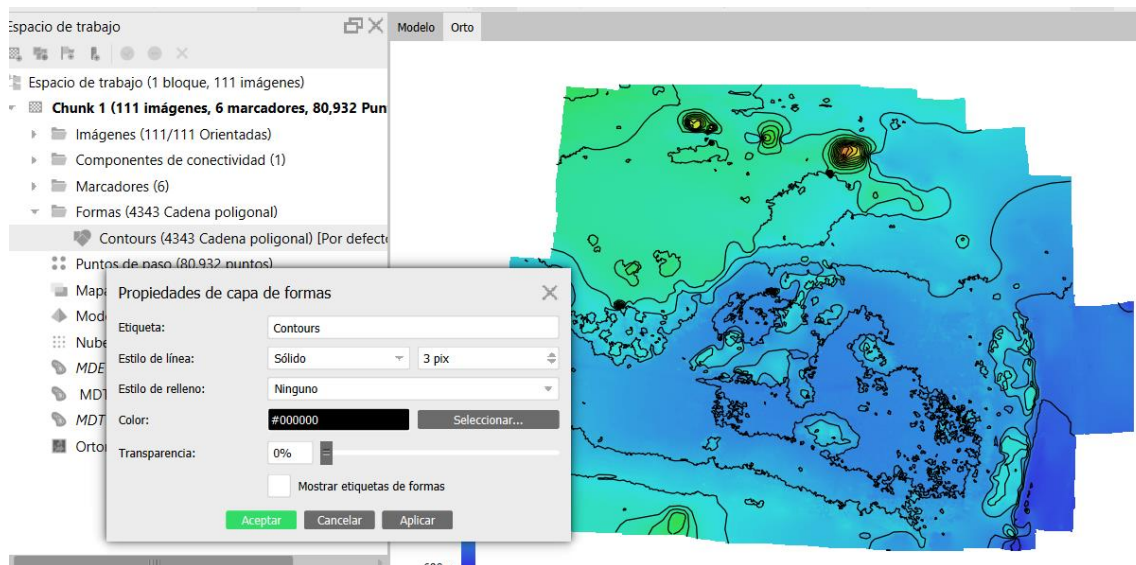


Figura 181. Curvas de nivel a cada 1m.

(Fuente: Creación propia)

#### 4.1.13 Cálculo de volumen

Para realizar el cálculo de volumen se puede realizar por medio del MDT o de la Malla 3D, lo primero que se debe realizar es dibujar el área sobre la cual se desea calcular el volumen, seleccionamos “dibujar un polígono” y dibujamos el área de interés una vez finalizado la selección del área, hacemos clic derecho y seleccionamos la opción “Medición”, ver figura 182.

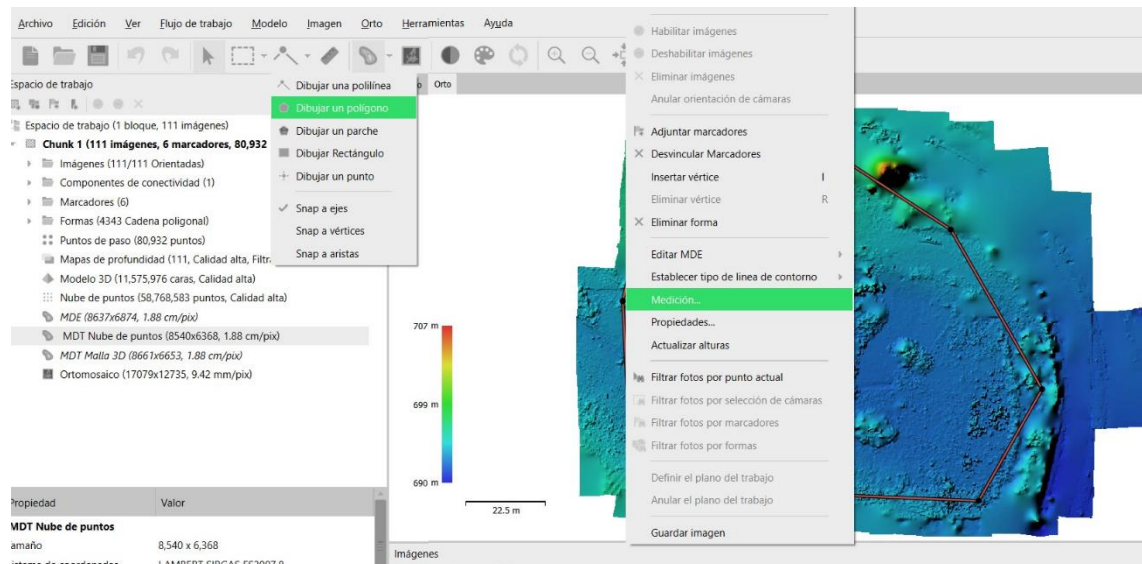


Figura 182. Cálculo de volumen.

(Fuente: Creación propia)

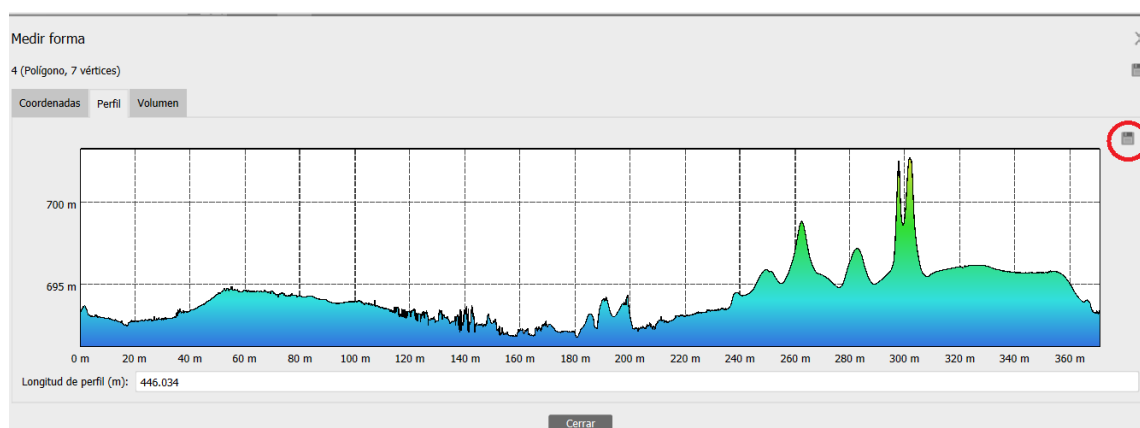
Seleccionada esa opción se muestra una ventana con 3 opciones, Coordenadas, Perfil y Volumen; en la opción de Coordenadas muestra las coordenadas de cada uno de los vértices que se han dibujado, así como el perímetro(m) del polígono dibujado y el área(m<sup>2</sup>), ver figura 183.

Medir forma					
4 (Polígono, 7 vértices)					
Coordenadas	Perfil	Volumen			
Vértice	Este (m)	Norte (m)	Altitud (m)	MDE Altitud (m)	Alt. err (m)
1	478306.943645	288976.485692		693.448	
2	478309.637878	288924.315534		694.803	
3	478407.120146	288920.396649		692.681	
4	478425.000060	288951.747730		693.196	
5	478399.282376	288996.569979		694.413	
6	478363.522549	289019.838359		696.538	
7	478316.740858	289019.103568		696.218	
Perímetro, 2D (m):		370.761			
Perímetro, 3D (m):					
Área, 2D (m <sup>2</sup> ):		9364.3			
Área, plano de mejor ajuste 2D (m <sup>2</sup> ):					
Sistema de coordenadas:		LAMBERT SIRGAS ES2007.8			

Figura 183. Coordenadas, Perímetro y Área de polígono.

(Fuente: Creación propia)

En la opción Perfil muestra un perfil del área dibujada, este perfil en un principio se puede mostrar algo exagerado, pero con ayuda del zoom del mouse o ampliando la ventana se puede observar de mejor manera, este perfil se puede exportar en varios formatos seleccionando el disquete que aparece en la esquina superior derecha de la ventana donde se encuentra el perfil, ver figura 184.



*Figura 184. Perfil del polígono.*

*(Fuente: Creación propia)*

En la opción volumen se puede observar, el volumen sobre el plano el volumen bajo el plano y el volumen total en metros cúbicos, el plano de comparación tiene por defecto la opción "Plano de mejor ajuste" que por lo general toma la cota más baja y a partir de ahí empieza a calcular los volúmenes, también se puede calcular el volumen por los planos de comparaciones como son el nivel promedio o seleccionando la opción de nivel personalizado se puede calcular a partir de un nivel de interés, ver figura 185.

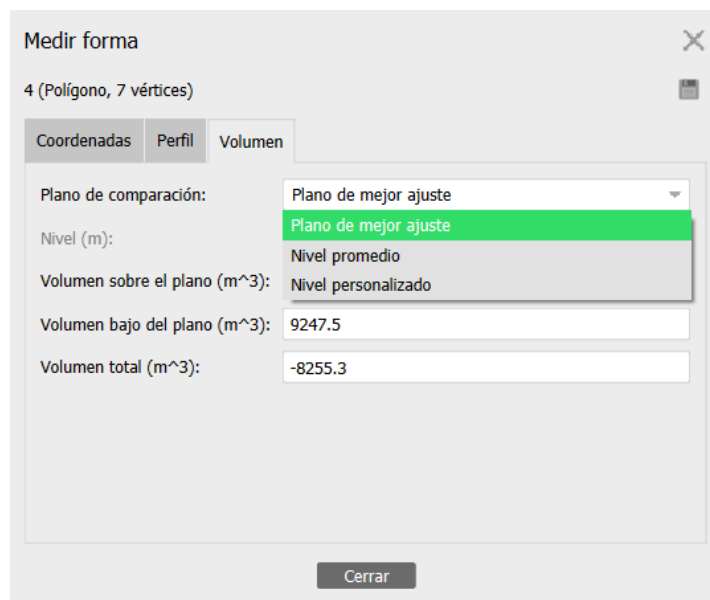


Figura 185. Volumen del área dibujada.

(Fuente: Creación propia)

#### 4.1.14 Exportación de productos finales

Creados los modelos digitales, se puede realizar rápidamente la exportación en diferentes formatos dando clic derecho sobre el nombre del producto que se encuentra en el área de trabajo, por ejemplo si se desea exportar el modelo digital del terreno, se da clic derecho sobre el nombre “MDT Nube de puntos” que se encuentra en el área de trabajo y se despliega un nuevo listado seleccionamos la opción “Exportar MDE...”, ver figura 186, se habilita una nueva ventana donde se puede seleccionar, la ubicación donde se desea guardar el archivo y los diferentes formatos con el cual se desea guardar en nuestro caso seleccionaremos el formato .tif y se da clic en guardar, ver figura 187.

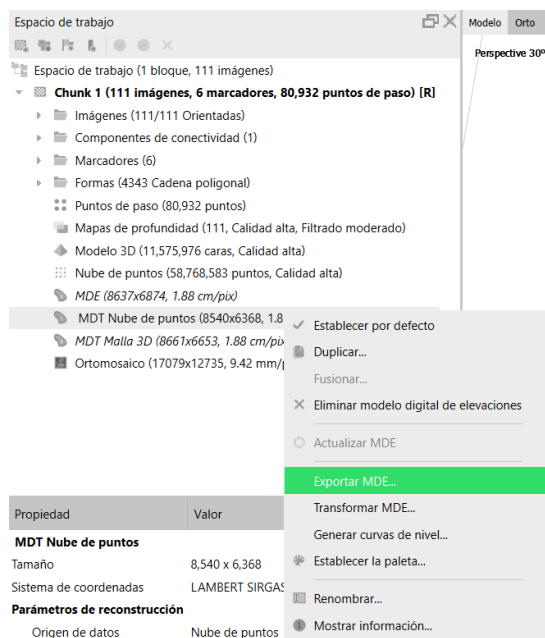


Figura 186. Exportar MDE.

(Fuente: Creación propia)

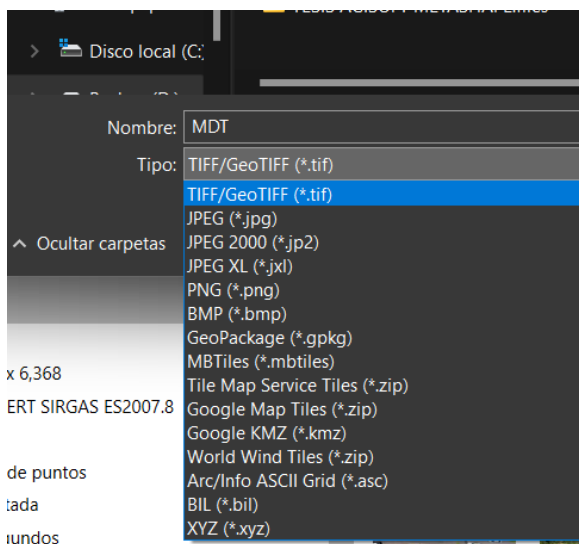
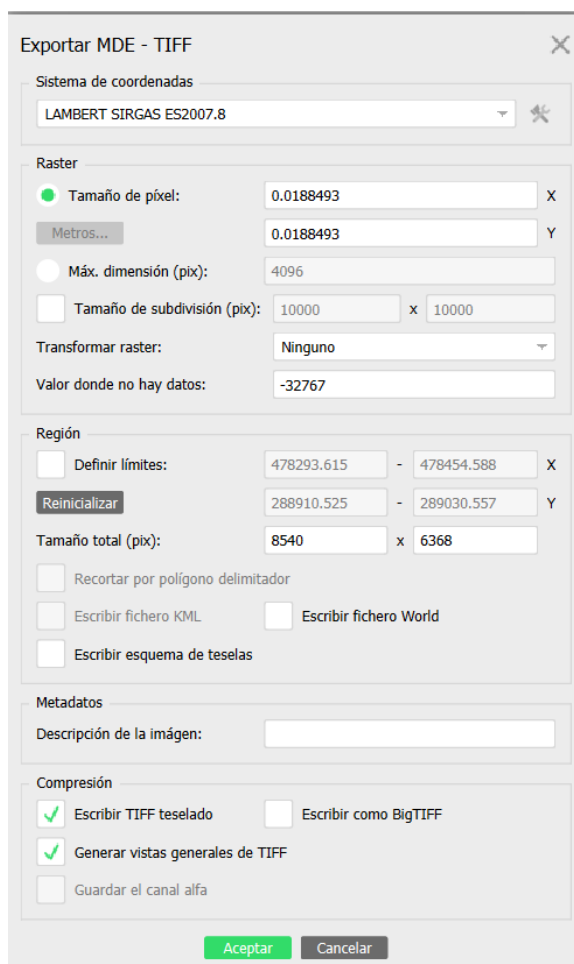


Figura 187. Formatos de exportación.

(Fuente: Creación propia)

Al seleccionar guardar se habilita una nueva ventana donde se deben seleccionar los parámetros con los que se desea almacenar nuestro MDT, desde el sistema de coordenadas, el tamaño de pixeles entre otras, en este caso dejamos los que el programa brinda por defecto ya que son los asignados en el procesamiento que hemos realizado y damos clic en aceptar y automáticamente se guarda en la carpeta seleccionada, ver figura 188.



The image shows a dialog box titled "Exportar MDE - TIFF" with a close button (X) in the top right corner. The dialog is organized into several sections:

- Sistema de coordenadas:** A dropdown menu showing "LAMBERT SIRGAS ES2007.8" with a refresh icon to its right.
- Raster:**
  - Tamaño de píxel:** Two input fields, both containing "0.0188493". The first is labeled "X" and the second "Y". A "Metros..." button is located between them.
  - Máx. dimensión (píx):** An input field containing "4096".
  - Tamaño de subdivisión (píx):** Two input fields, both containing "10000", separated by an "x" symbol.
  - Transformar raster:** A dropdown menu showing "Ninguno".
  - Valor donde no hay datos:** An input field containing "-32767".
- Región:**
  - Definir límites:** Four input fields. The first two contain "478293.615" and "478454.588" (labeled "X"). The last two contain "288910.525" and "289030.557" (labeled "Y"). A "Reinicializar" button is located below the first two fields.
  - Tamaño total (píx):** Two input fields containing "8540" and "6368", separated by an "x" symbol.
  - Recortar por polígono delimitador
  - Escribir fichero KML
  - Escribir fichero World
  - Escribir esquema de teselas
- Metadatos:** A text input field labeled "Descripción de la imagen:".
- Compresión:**
  - Escribir TIFF teselado
  - Escribir como BigTIFF
  - Generar vistas generales de TIFF
  - Guardar el canal alfa

At the bottom of the dialog are two buttons: "Aceptar" (highlighted in green) and "Cancelar".

Figura 188. Parámetros de exportación.

(Fuente: Creación propia)

El proceso de exportación de los productos finales como son los modelos digitales de elevación y de terreno, la nube de puntos densa, el Ortomosaico e incluso las curvas de nivel se realiza de la misma manera únicamente cambian los formatos de exportación a seleccionar estos dependerán de la utilidad para la que se necesite utilizar dichos productos, por ejemplo, si se desea abrir con Civil3D, GoogleEarth u otro programa de interés.

#### **4.1.15 Generación de informe de procesamiento**

Para realizar la exportación del informe de procesamiento, se ingresa a la opción de “Archivo”, luego seleccionamos “Exportar” y luego clic en “Generar informe...”, ver figura 189, se habilitará una nueva ventana donde se debe seleccionar el título del informe, una breve descripción, la proyección de los modelos y la ortofoto y si se desea que posea número de páginas, ingresados los datos anteriores se selecciona aceptar, ver figura 190, se habilita una nueva ventana donde se debe seleccionar la ubicación donde se desea guardar el documento,

el nombre con el que se desea guardar y el formato con el que se desea almacenar, ver figura 191.

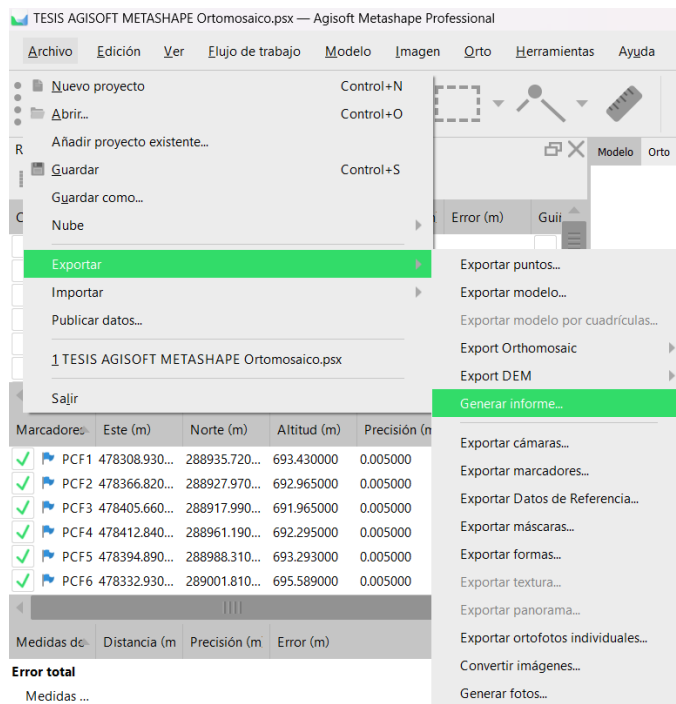


Figura 189. Pasos para generar informe de procesamiento.

(Fuente: Creación propia)

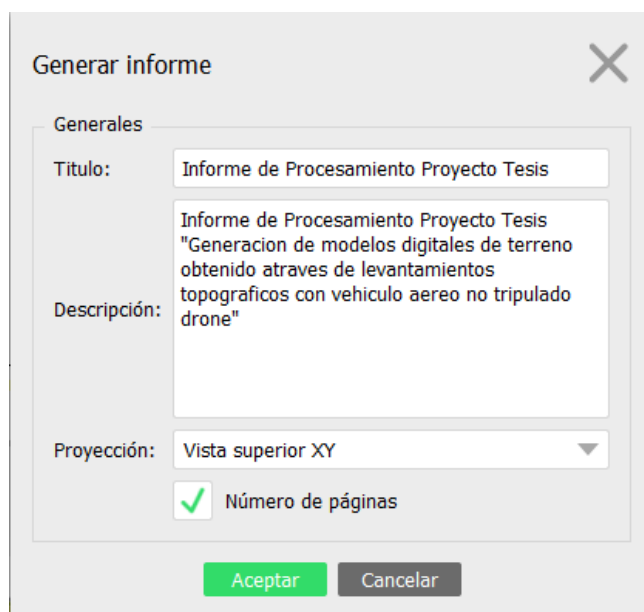


Figura 190. Descripción de informe de procesamiento.

(Fuente: Creación propia)

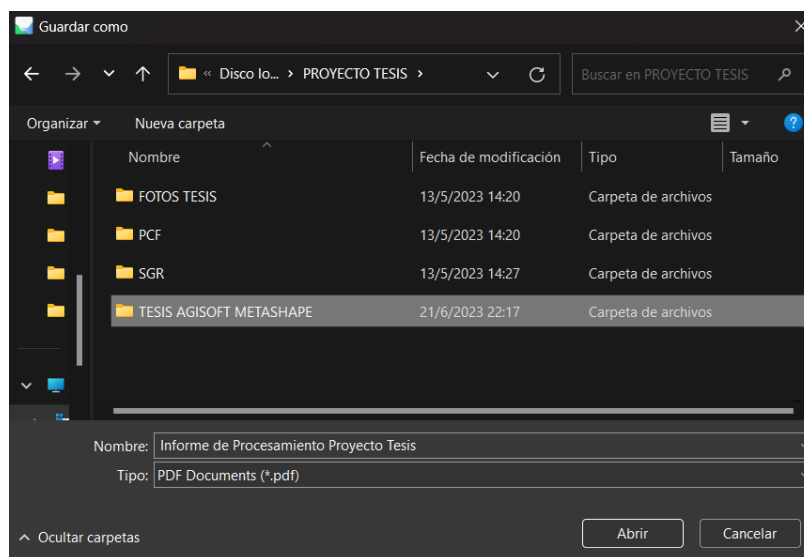


Figura 191. Almacenamiento de informe de procesamiento.

(Fuente: Creación propia)

Una vez guardado el documento, al abrirlo muestra, el título la fecha y una captura de la ortofoto final, ver figura 192, se muestran datos del levantamiento, el número de imágenes totales, el número de imágenes alineadas, la altura media del vuelo, la resolución, el área cubierta en el vuelo, error de reproyección, el detalle de la cámara utilizada (modelo, resolución distancia focal, tamaño de pixel y si fue precalibrada), Agisoft realiza la calibración de la cámara de forma interna cuya información se muestra en el informe de procesamiento, donde muestra los el gráfico de residuo, los coeficientes de calibración y la matriz de correlación en base a cada uno de los coeficientes, el informe muestra la información referente a los puntos de control terrestre con el detalle de los errores de posicionamiento, se puede observar el modelo digital de elevaciones y los parámetros de procesamiento, este informe se puede observar en la parte de anexos de este documento.

## Informe de Procesamiento Proyecto Tesis

Informe de Procesamiento Proyecto Tesis "Generacion de modelos digitales de terreno obtenido a través de levantamientos topograficos con vehiculo aereo no tripulado drone"

23 June 2023



Figura 192. Portada de informe de procesamiento.

(Fuente: Creación propia)

### 4.2 Pix4D Mapper: Procesamiento de datos

#### 4.2.1 Creación de proyecto nuevo

Pasos:

- d) Crear carpeta con nombre de proyecto ubicada en el mismo disco de almacenamiento que donde se encuentra instalado el programa Pix4D Mapper, en nuestro caso será el Disco C y nombre de carpeta "PROYECTOS TESIS".

e) En la carpeta creada “PROYECTOS TESIS” se deben guardar las carpetas siguientes:

- Carpeta con las fotografías obtenidas del vuelo con el dron
- Carpeta con el archivo de las coordenadas de los PCF colocados
- Carpeta con el archivo PRJ del Sistema de Referencia Geodésico que en nuestro caso es “LAMBERT SIRGAS ES2007.8”, ver figura 193.

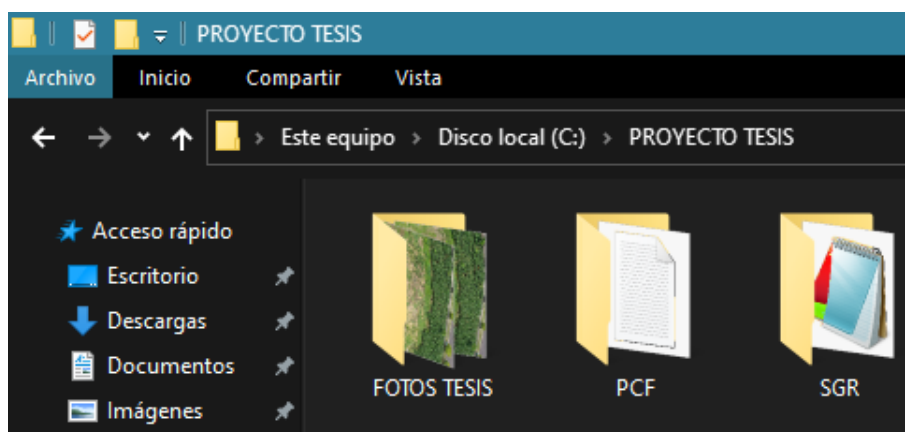


Figura 193. Carpetas para procesamiento.

(Fuente: Creación propia)

f) Luego se abre el programa Pix4D Mapper y en el menú de inicio se selecciona “Nuevo Proyecto” se levanta una nueva ventana donde se debe ingresar el Nombre del proyecto y se debe ingresar la carpeta donde se desea crear el proyecto, esta debe seleccionarse en la carpeta creada en paso a), luego se debe dar clic en siguiente, ver figura 194.

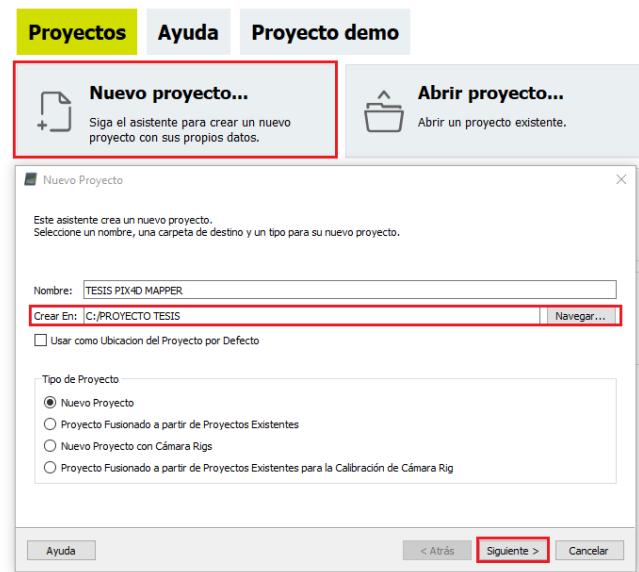


Figura 194. Creación de nuevo proyecto.

(Fuente: Creación propia)

## 4.2.2 Importación de datos

Pasos:

d) En ventana de selección de imágenes existen varias opciones para realizar la importación de las fotografías, para este proceso es necesario se carguen al menos 3 imágenes en los formatos JPG o TIFF, para importar las imágenes se puede realizar por las siguientes opciones:

- Añadir imágenes, donde se debe ingresar a la carpeta donde se encuentran las fotografías y seleccionarse todas de manera manual, ver figura 195.

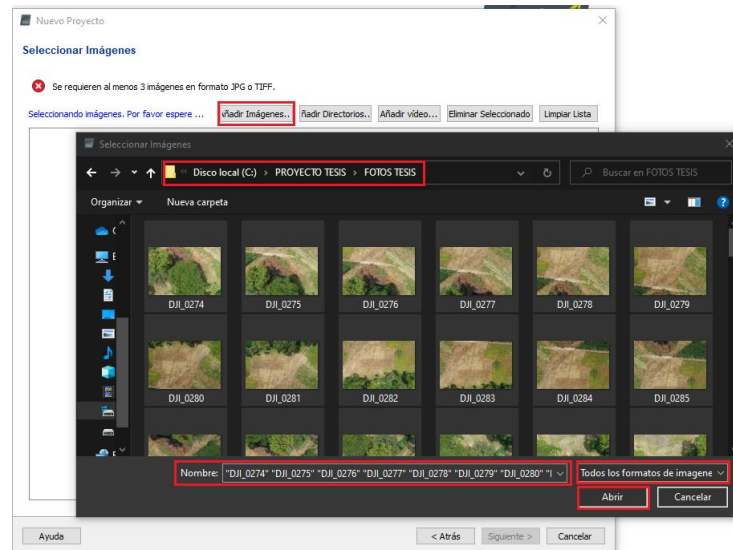


Figura 195. Añadir imágenes de manera manual.

(Fuente: Creación propia)

- Añadir directorios, esta opción es la más recomendable debido que solamente es necesario seleccionar la carpeta donde se encuentran todas las fotografías resultantes del levantamiento con el drone, ver figura 196.

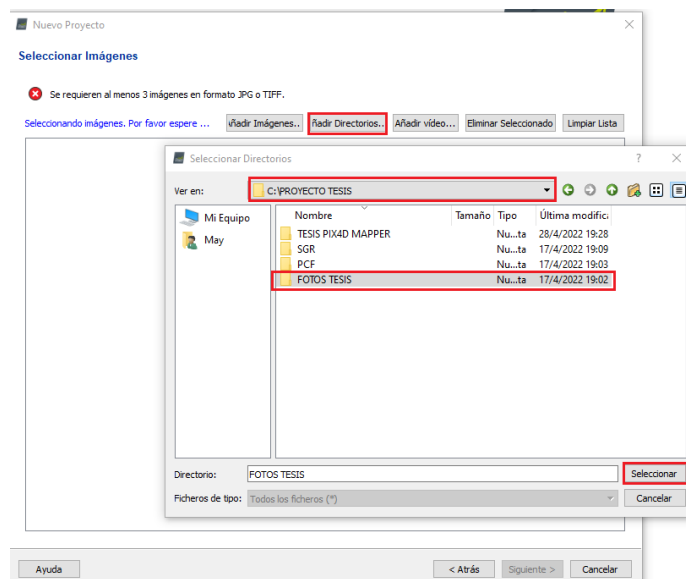


Figura 196. Añadir directorios para cargar imágenes.

(Fuente: Creación propia)

- e) Una vez seleccionadas las fotografías o la carpeta donde se encuentran las fotografías, se debe dar clic en “abrir” o “seleccionar” y automáticamente se cargan las fotografías tomadas en el levantamiento, en la parte superior debe brindar un mensaje que indique “Se han seleccionado suficientes imágenes: pulse siguiente para continuar”, ver figura 197.

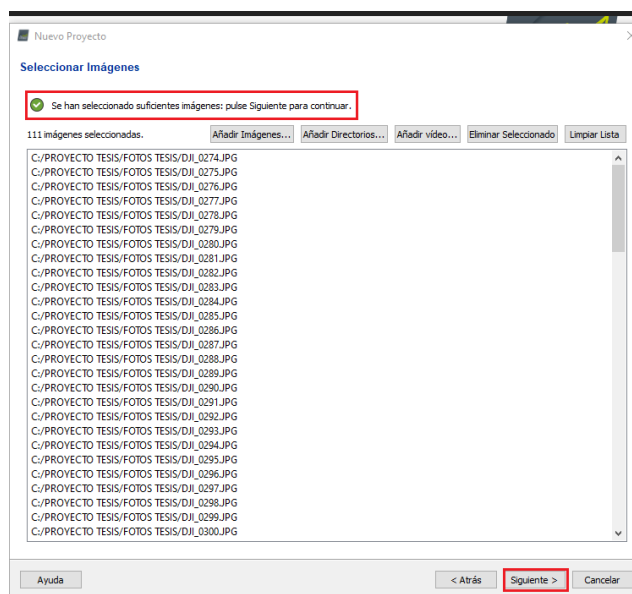


Figura 197. Selección de imágenes.

(Fuente: Creación propia)

- f) Una vez dando clic en siguiente del paso anterior, en pantalla brindará el sistema de coordenadas geográficas con en el que fueron levantadas las fotografías en este caso fue el sistema de referencia WGS 84 el cual fue reconocido automáticamente, la cantidad de fotografías geolocalizadas, , el detalle de cada fotografía: sus coordenadas geográficas Latitud (grado), Longitud (grado), y la elevación elipsoidal - Altitud(m) en el sistema de

referencia WGS 84 en el que fueron levantadas, las precisiones Horizontales y Verticales en m y los giros Omega, Phi, Kappa que son los giros que realiza el drone al tomar las fotografías en su plan de vuelo, ver figura 198.

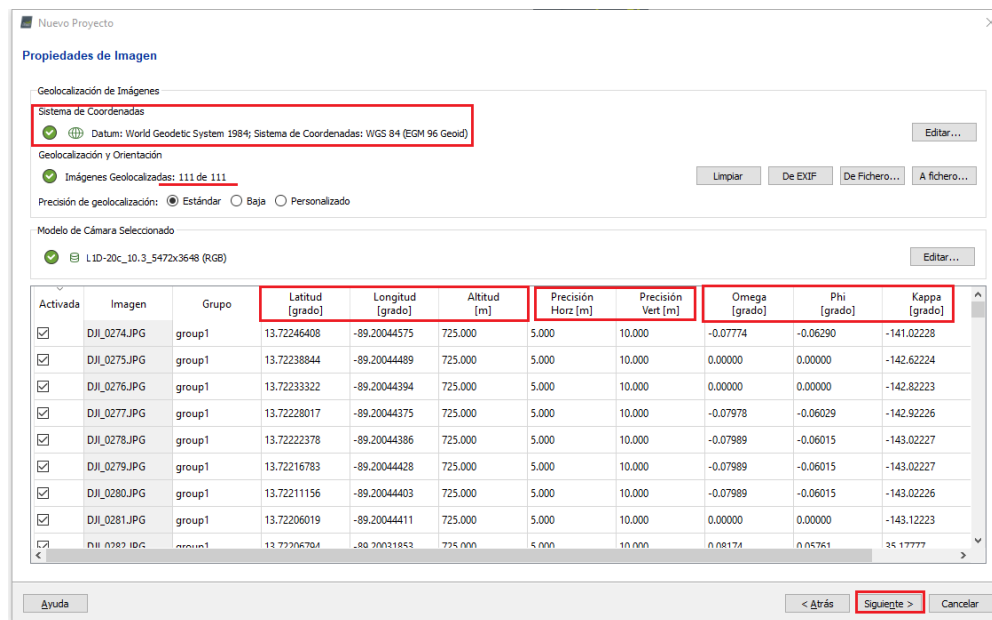


Figura 198. Propiedades de imágenes.

(Fuente: Creación propia)

En este caso el proyecto ha realizado la importación de las fotografías de manera correcta, se da clic en siguiente para continuar con el proceso.

#### 4.2.3 Sistema de Referencia Geodésico

Una vez realizada la importación de las fotografías, nos brinda una nueva ventana para realizar la selección del sistema de referencia de coordenadas de salida, donde nos muestra el sistema de coordenadas seleccionado automáticamente que en este caso fue el sistema de referencia WGS 84 / UTM zone 16N (EGM 96

Geoid), pero el sistema de salida para El Salvador no es el anterior mencionado, sino que se debe seleccionar nuestro Sistema de Referencia Geodésico moderno que es la proyección cónica conforme de LAMBERT SIRGAS-ES2007, ver figura 199.

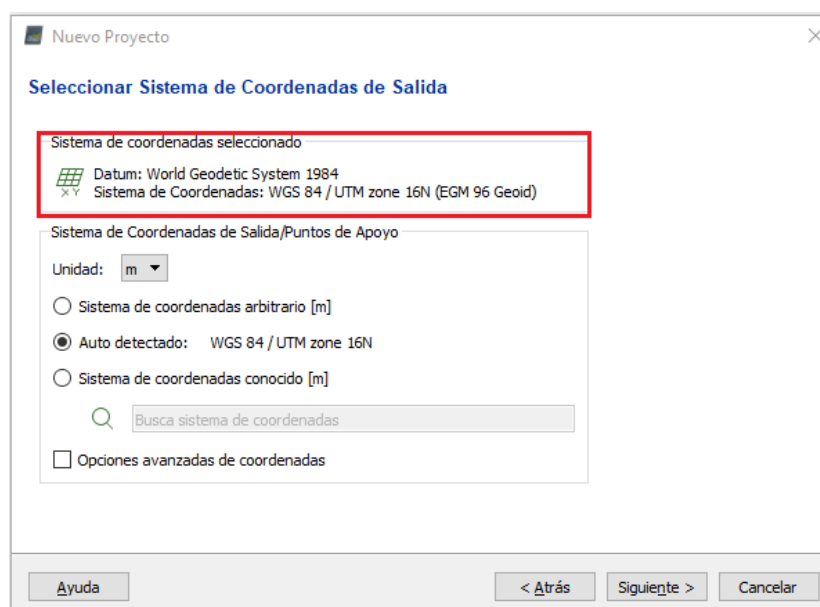


Figura 199. Seleccionar sistema de coordenadas de salida.

(Fuente: Creación propia)

Para el cambio de sistema de referencia se debe realizar lo siguiente:

- d) Se debe seleccionar la casilla que indica “Sistema de coordenadas conocido (m)” una vez seleccionando esta opción se despliegan las 3 formas para el ingreso del sistema de referencia “Desde PRJ”, “Desde la Lista...” o “Desde EPSG...”, en nuestro caso seleccionaremos “Desde PRJ”, ver figura 200.

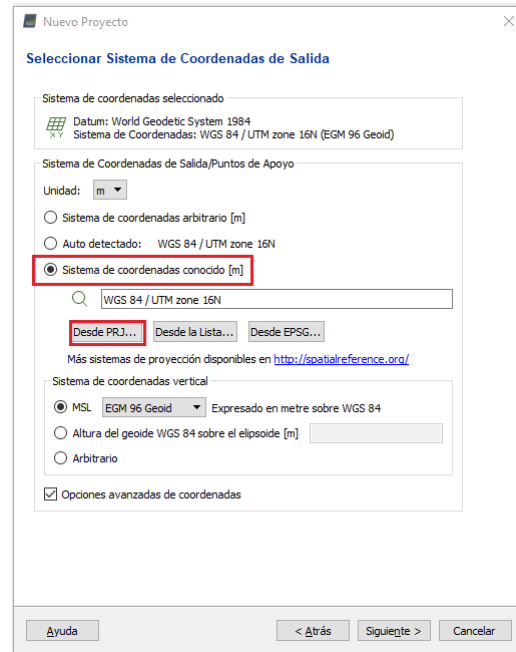


Figura 200. Cargar sistema de coordenadas conocido.

(Fuente: Creación propia)

- e) Una vez seleccionando “Desde PRJ”, debemos ingresar en la dirección donde se encuentra guardado nuestro archivo PRJ del sistema de referencia LAMBERT SIRGAS-ES2007, seleccionar el archivo y dar clic en abrir, ver figura 201.

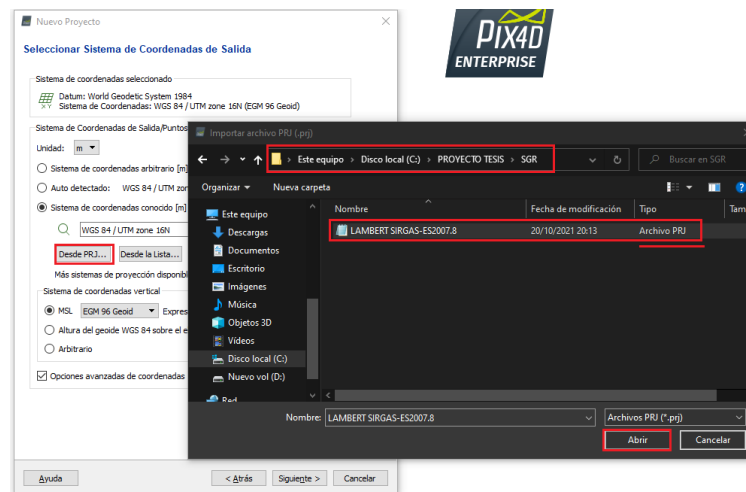


Figura 201. Selección de archivo PRJ.

(Fuente: Creación propia)

- f) Una vez realizado el paso anterior el sistema de salida del proyecto queda georreferenciado y solamente se debe seleccionar el sistema de coordenadas vertical en este caso sería el sistema más actual de geoides que es el 2008, una vez seleccionado este paso, podemos dar clic en siguiente y finalizar con el proceso de selección de sistema de referencia, ver figura 202.

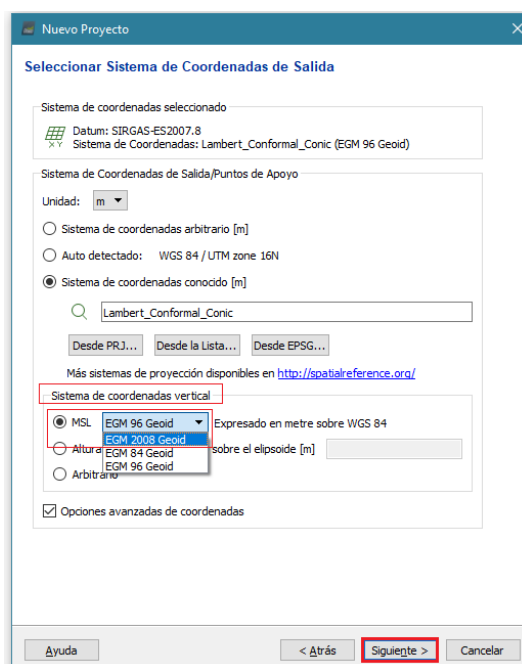


Figura 202. Selección de sistema de coordenadas verticales.

(Fuente: Creación propia)

#### 4.2.4 Selección de opción de procesamiento

Una vez georreferenciado, nos brinda una nueva ventana con las plantillas de opciones de procesamiento, en nuestro caso seleccionaremos en la opción Estándar – 3D Maps que nos generará los siguientes resultados:

- Ortomosaico

- DSM por sus siglas en ingles Digital Surface model en español Modelo de superficie digital
- Malla 3D
- Nube de puntos

Utilizado para las siguientes aplicaciones:

- Medición de volúmenes
- Digitalización de casas y carreteras
- Generación de líneas de contorno
- Creación de mapas de Google, ver figura 203.

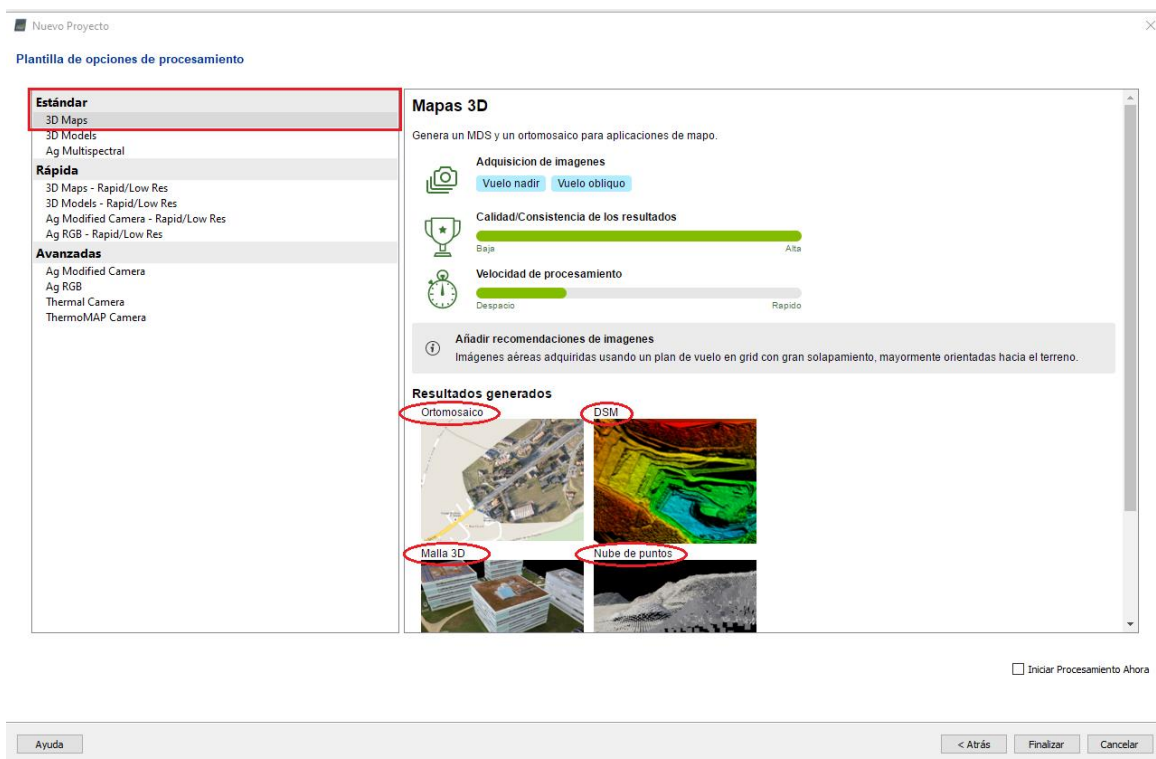


Figura 203. Plantilla de opciones de procesamiento.

(Fuente: Creación propia)

Damos clic en finalizar, posteriormente nos presenta el plan de vuelo con sus correspondientes fotografías tomadas por el drone, que son representadas como un círculo rojo y se puede observar que está bien georreferenciado en la esquina inferior derecha el sistema WGS-84, Latitud y Longitud y su correspondiente proyección cartográfica Cónico Conforme de Lambert SIRGAS–ES2007, ver figura 204.

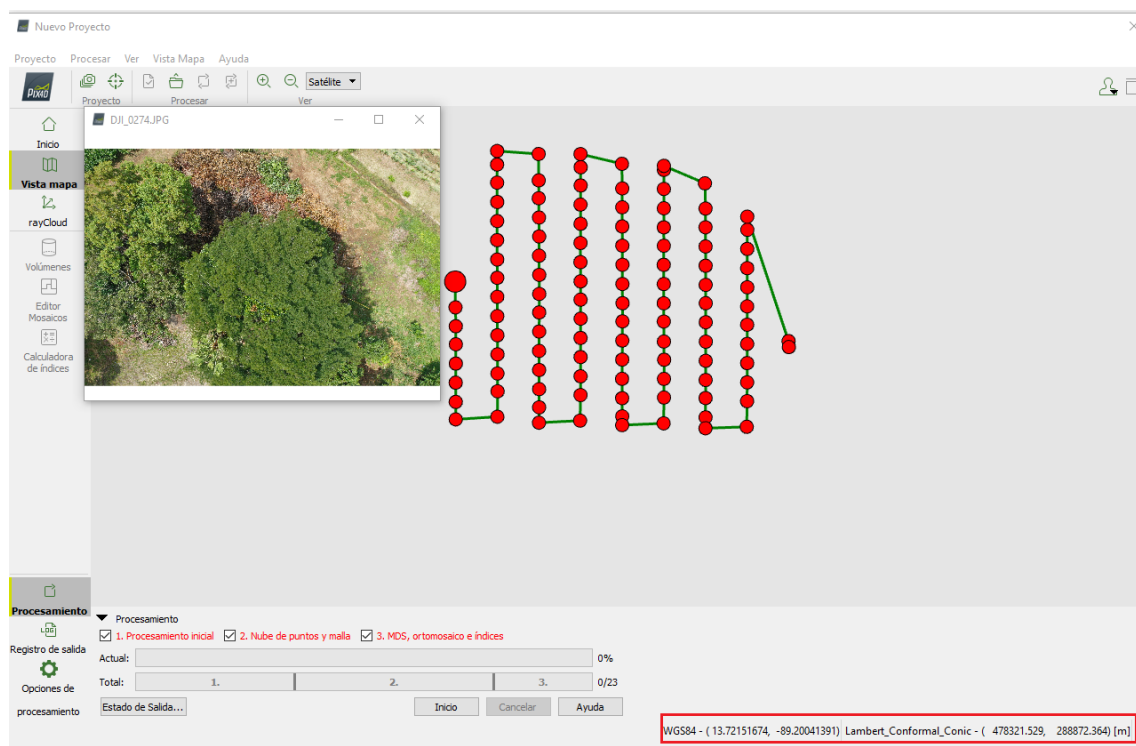


Figura 204. Área de trabajo con fotografías cargadas.

(Fuente: Creación propia)

#### 4.2.5 Procesamiento inicial

Para iniciar el paso 1. Procesamiento inicial, en la parte inferior izquierda brinda los siguientes pasos de procesamiento:

1. Procesamiento inicial
2. Nube de puntos y malla
3. MDS, Ortomosaico e índices

Para el paso 1 se deben de desmarcar los pasos 2. y 3. y dejar seleccionado únicamente el paso 1. Procesamiento inicial, luego dar clic en la parte de “Opciones de Procesamiento” donde se desplegará una nueva ventana y de igual forma se debe seleccionar únicamente la opción 1. Procesamiento inicial, luego a la derecha se mostrará la ventana “General” donde se debe seleccionar la opción “Completa” en la parte de escala de imagen para puntos clave y seleccionar en Informe de Calidad la opción que indica que se desea “Generar Previsualización del Ortomosaico en el Informe de Calidad”, ver figura 205.

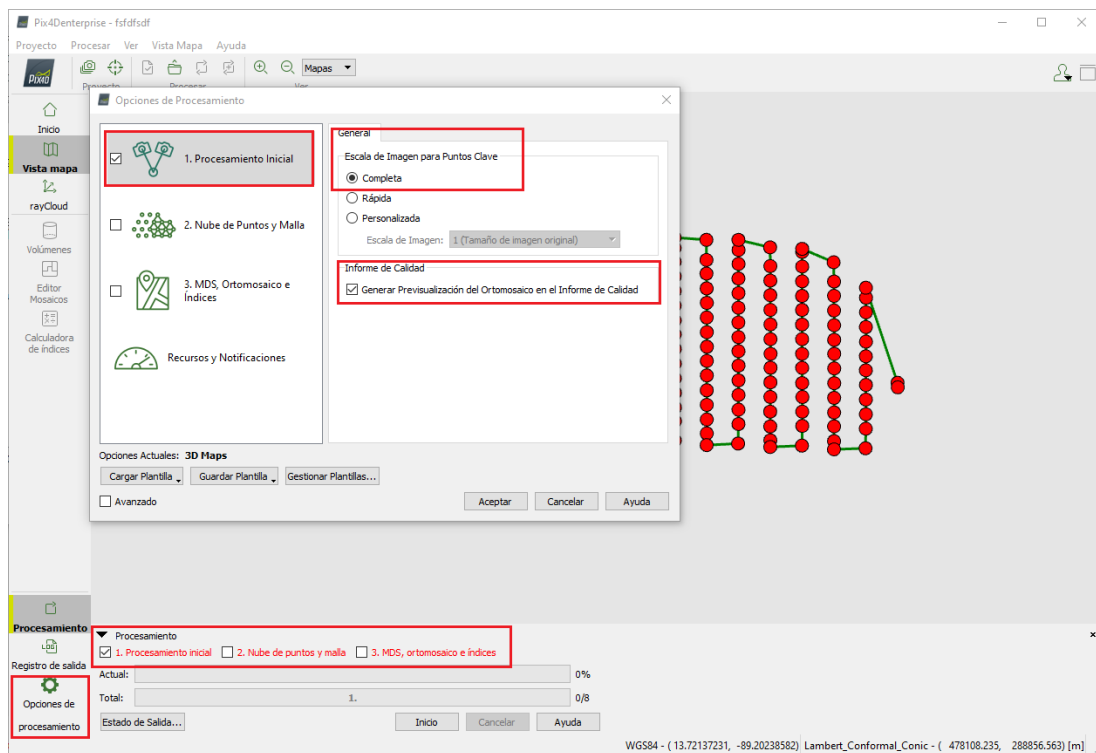


Figura 205. Selección para procesamiento inicial.

(Fuente: Creación propia)

Una vez seleccionadas las opciones indicadas se da clic en “Aceptar” en las opciones de procesamiento y luego en la ventana principal en la parte inferior derecha dar clic en el botón “Inicio” y el software comienza a realizar el procesamiento inicial y se observa cómo se van realizando el procesamiento de cada fotografía cuando estas cambian de representarse como un círculo rojo a uno verde, el tiempo de procesamiento depende de la capacidad de la computadora con la que se esté operando el software, ver figura 206.

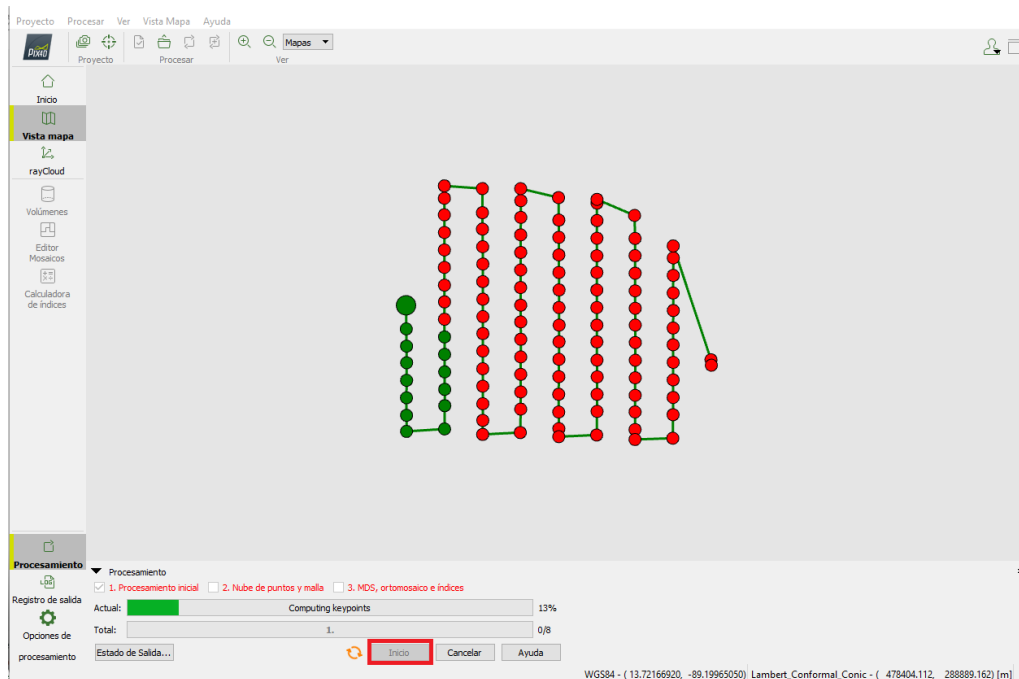


Figura 206. Procesamiento inicial.

(Fuente: Creación propia)

#### 4.2.6 Reporte de calidad y Generación de Nube de puntos

Al finalizar el procesamiento inicial nos levanta una ventana emergente con el informe preliminar de calidad donde nos muestra:

-El nombre del proyecto

- La fecha y hora del procesamiento
- el tiempo del procesamiento
- Los controles internos, los cuales indican si se encuentran correctos con un check en color verde y en caso de no encontrarse correctos brinda un símbolo en color amarillo o rojo, inicialmente la parte de optimización y georreferenciación indica la alerta en amarillo, pero es debido a que no se han ingresado los puntos de control fotogramétrico correspondientes, proceso que se mostrará más adelante.
- La vista preliminar del Ortomosaico y el correspondiente Modelo de Superficie Digital (DSM) antes de la densificación.
- El sistema de coordenadas de entrada y de salida, entre otros, ver figura 207.

Quality Report - TESIS PIX4D MAPPER

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

**Summary**

Project	TESIS PIX4D MAPPER
Processed	2022-04-28 19:28:37
Camera Model Name(s)	L1D-20c_10_3_5472x3648 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	0.96 cm / 0.38 in
Area Covered	0.015 km <sup>2</sup> / 1.5070 ha / 0.01 sq. mi. / 3.7257 acres

**Quality Check**

Images	median of 72570 keypoints per image	✓
Dataset	111 out of 111 images calibrated (100%), all images enabled	✓
Camera Optimization	5.38% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	⚠
Matching	median of 13416.8 matches per calibrated image	✓
Georeferencing	yes, no 3D GCP	⚠

Mostrar Automáticamente después del Procesamiento Cerrar

Figura 207. Informe preliminar de calidad.

(Fuente: Creación propia)

Al cerrar el reporte de calidad preliminar y podemos observar una nube densa de puntos del área donde se generó el levantamiento fotogramétrico, ver figura 208.

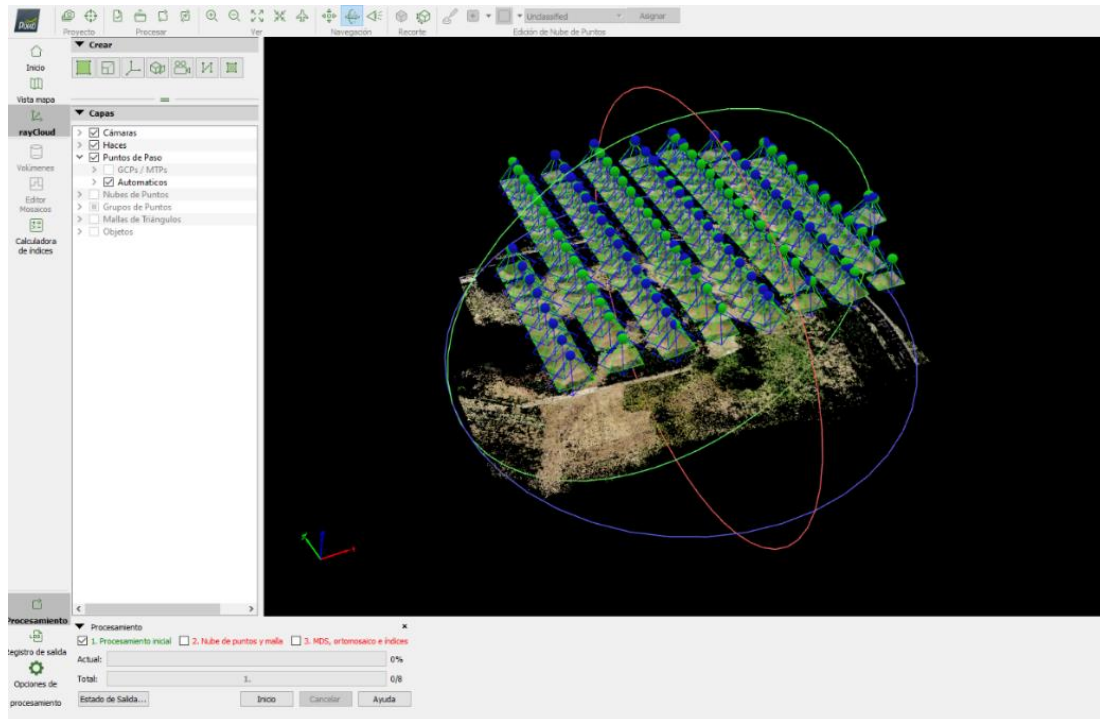


Figura 208. Nube de puntos.

(Fuente: Creación propia)

#### 4.2.7 Creación de Puntos de paso

Después de haber realizado el paso 1, el procesamiento inicial se deben colocar los puntos de paso y los puntos de control fotogramétrico correspondiente, puntos de paso son los puntos de control fotogramétricos identificables en el área de levantamiento (en el terreno), el proceso de selección de puntos de paso se realiza para alinear las fotografías que tienen en común el mismo punto de paso, ubicar el mismo punto de control fotogramétrico en diferentes fotografías.

Para realizar la colocación de los puntos de paso se deben generar los siguientes pasos:

1. Dar clic en el área de levantamiento que consideremos es un punto común con otras fotografías, se abre una nueva ventana al lado derecho donde se muestran las fotografías que posee ese punto, en las primeras fotografías se debe buscar un punto que se logre identificar en todas las fotografías por ejemplo una estructura, una roca, o algún otro objeto que se sea foto identificable, cabe destacar que no es necesario tener coordenadas de ese punto este proceso es únicamente para generar el traslape de las fotografías, ver figura 209.

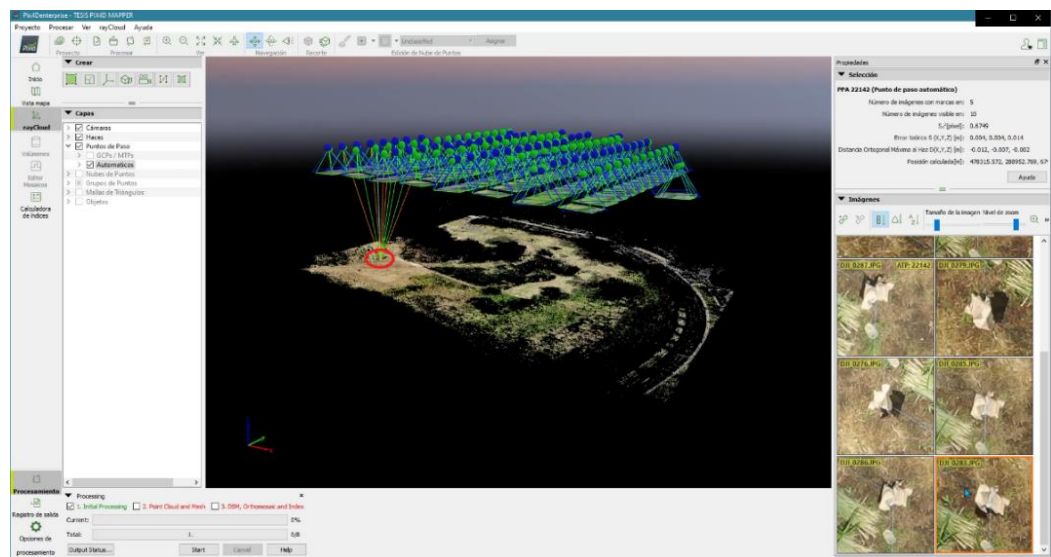



Figura 209. Selección de un punto en común.

(Fuente: Creación propia)

2. Una vez seleccionando el punto foto identificable, le damos clic en el símbolo  para agregar el punto de paso y luego en las primeras fotografías se debe dar clic sobre este punto para que automáticamente se genera un círculo de color amarillo que indica que esta fotografía contiene el punto de paso seleccionado, para encontrar de manera más


rápida este punto en las demás fotografías se selecciona el icono de foco  para que de esta manera el programa de manera automática haga un acercamiento en las fotografías y muestre el punto de paso que hemos seleccionado y lo marque con una “x” en color verde, para identificar en cuantas fotografías se encuentra este punto en común, ver figura 210.



Figura 210. Opción de foco para encontrar punto en común.

(Fuente: Creación propia)

- Una vez identificado el punto de paso en cada fotografía se debe ir seleccionando este punto en cada fotografía donde se encuentre para generar el punto de paso número 1 (mtp 1), esto se puede generar de manera manual dando clic en cada fotografía o seleccionando la opción de marcado automático, ver figura 211.



Figura 211. Marcado automático de punto de paso.

(Fuente: Creación propia)

4. Una vez seleccionado en todas las fotografías este punto en común se da selección la opción aplicar que se encuentra en la parte superior de la derecha y donde adicional se muestran automáticamente los valores para este punto de paso como lo son Etiqueta o nombre, Tipo de punto (punto de paso), coordenadas X, Y, Z, numero de imágenes marcadas, las presiones y errores del punto entre otros, ver figura 212.

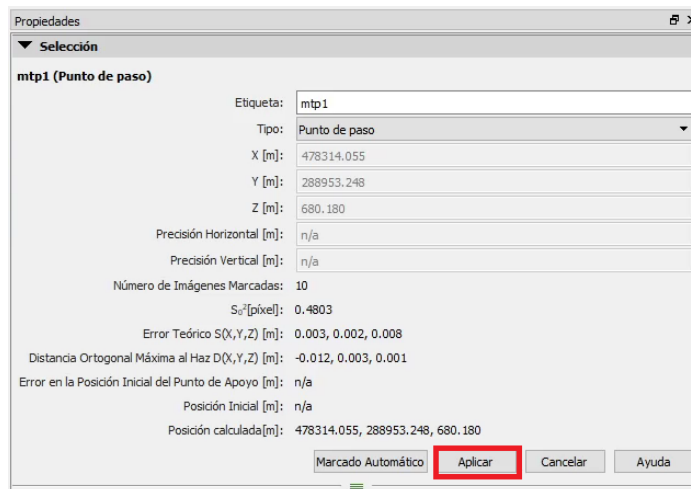



Figura 212. Propiedades de punto de paso.

(Fuente: Creación propia)

Una vez guardado este punto de paso se continua ingresando los demás para este proceso se recomienda ingresar entre 4 a 5 puntos de paso por punto cardinal, pero esto depende de la cantidad de puntos de paso existentes en el terreno, para ingresar el siguiente punto de paso se genera de la misma forma que el punto anterior se selecciona un punto en el área de levantamiento se da busca un punto foto identificable y se selecciona el símbolo  para agregar el punto de paso siguiente, luego se realizan los puntos del 2 al 4 mencionados anteriormente, se continua así hasta registrar todos los puntos que se requieran, cada vez que se seleccione la opción “aplicar” para guardar el punto de paso este aparecerá en la ventana izquierda en la opción de capas, puntos de paso , GCPs/MTPs, Propiedades visuales y con el nombre del punto de paso y en paréntesis el número de fotografías marcadas con ese punto, ver figura 213.

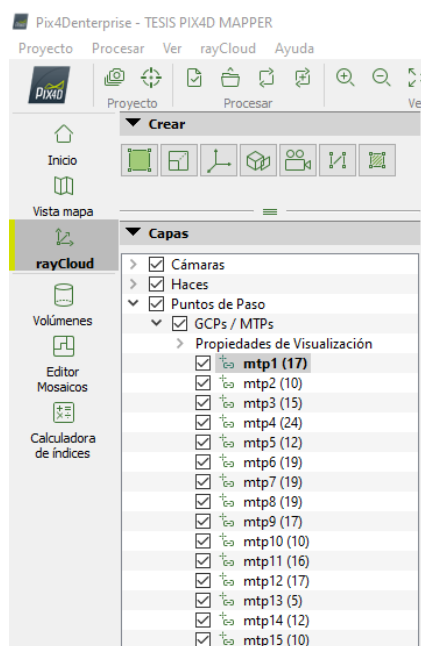


Figura 213. Total de puntos de paso creados.

(Fuente: Creación propia)

Una vez creados y aplicados todos los puntos de paso debemos seleccionar en la parte superior izquierda del programa la opción de “Procesar” se genera una lista desplegable y se debe seleccionar la opción “Reemparejar y Optimizar” para que las fotografías aéreas que tienen puntos en común las empareje y así se optimice el procesamiento, ver figura 214.

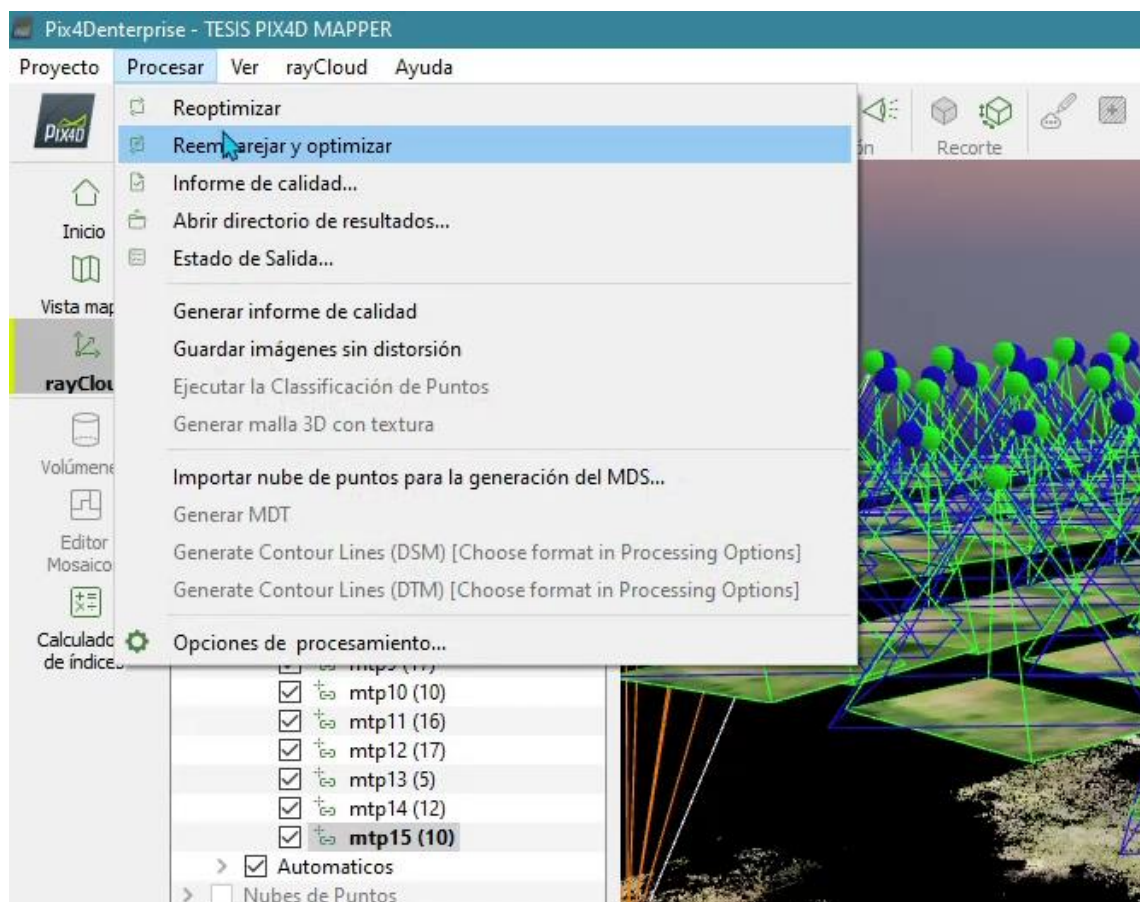


Figura 214. Reemparejar y optimizar.

(Fuente: Creación propia)

Una vez seleccionando esta opción aparecerá en la parte inferior izquierda el % de avance de la Reoptimización, este proceso se tardará dependiendo de la capacidad de la computadora con la que se genere el procesamiento, al finalizar

de reoptimizar se podrá observar que el programa reorienta las fotografías y las unió, ver figura 215.

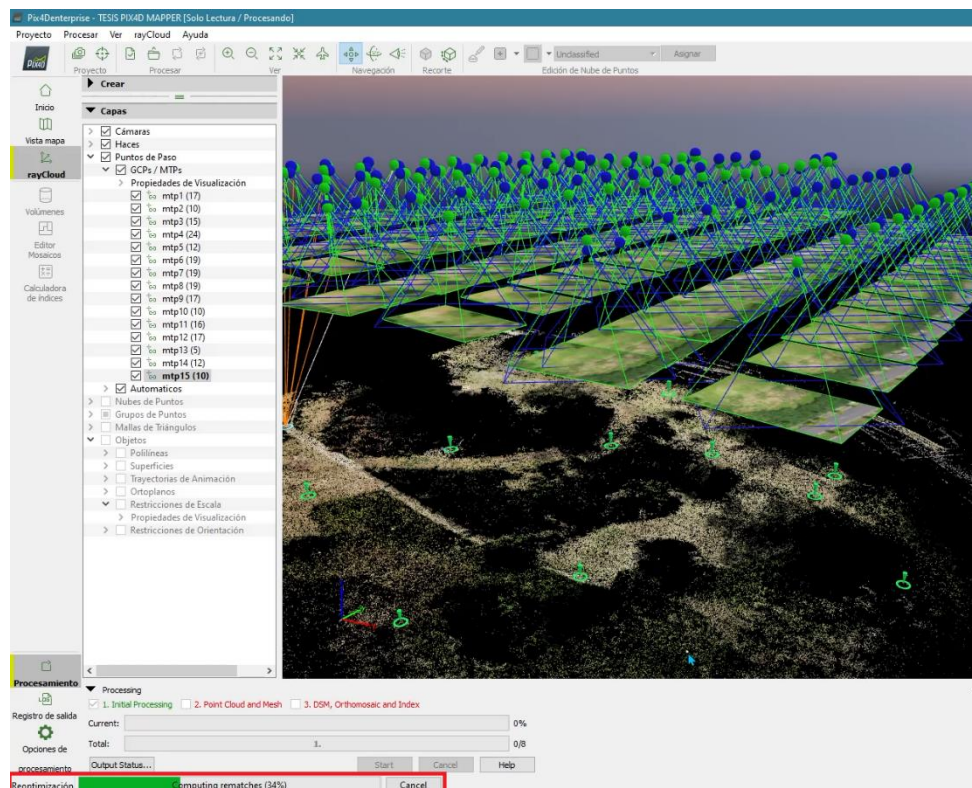


Figura 215. Reoptimización.

(Fuente: Creación propia)

#### 4.2.8 PCF o Puntos de Apoyo

Una vez colocados los puntos de paso, continuamos con la colocación de los puntos de apoyo los cuales tienen coordenadas la proyección cartográfica Lambert SIRGAS 2007, para realizar este proceso se realizan los siguientes pasos:

- Ingresar al menú superior izquierdo en la parte de “Proyecto”
- Seleccionar la opción “Gestor GCP/MTP”, ver figura 216.

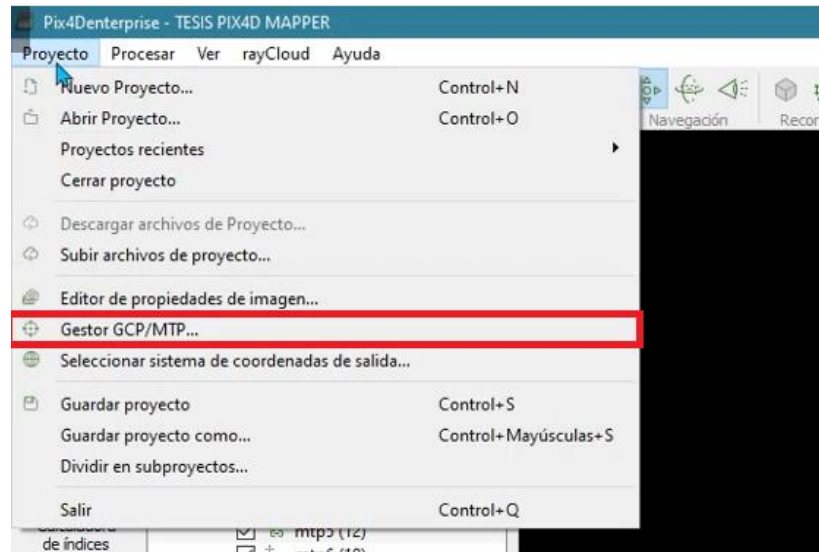


Figura 216. Gestor GCP/MTP.

(Fuente: Creación propia)

- Se abre una nueva ventana, se selecciona la opción “Importar puntos de apoyo”, para este paso se debe tener cuidado de la forma en la que se encuentran ingresadas las coordenadas en el archivo txt a importar.
- Seleccionar el orden de las coordenadas en este caso el archivo txt se encuentra con el orden “X,Y,Z”
- Una vez seleccionado el orden de las coordenadas damos clic en la opción de Exportar... y seleccionamos el archivo txt donde se encuentran registradas las coordenadas de nuestros puntos de apoyo, y damos clic en aceptar, ver figura 217.

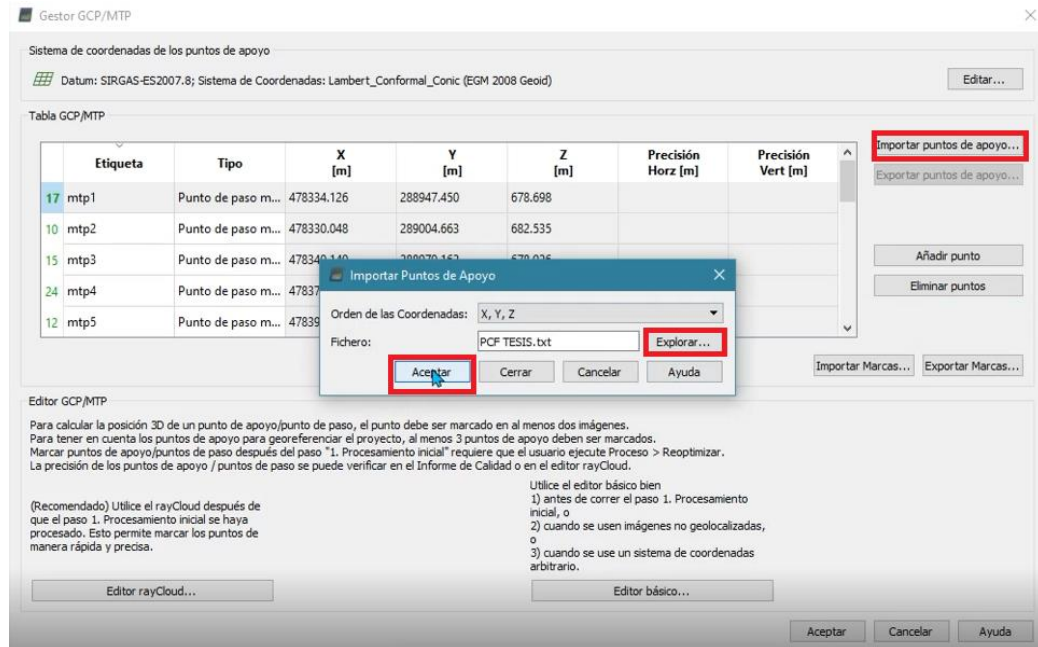


Figura 217. Importar puntos de apoyo.

(Fuente: Creación propia)

- Una vez seleccionando estos pasos automáticamente aparecen bajo el listado de puntos de paso los puntos de apoyo, el procedimiento que sigue es marcar en cada fotografía los puntos de apoyo correspondientes.
- Damos clic en el punto de apoyo número uno (PCF 1) y en las fotografías donde aparece ubicamos el centro de las lonas colocadas para la identificación visual de nuestros puntos de control terrestre, una vez seleccionado el centro de las lonas correspondiente al PCF seleccionamos la opción aplicar, ver figura 218.
- Se realiza este procedimiento con todos los Puntos de Control Fotogramétricos ingresados y una vez finalizado el proceso se debe

seleccionar la opción de “Procesar” y después seleccionar la opción “Reemparejar y Optimizar”, ver figura 219.

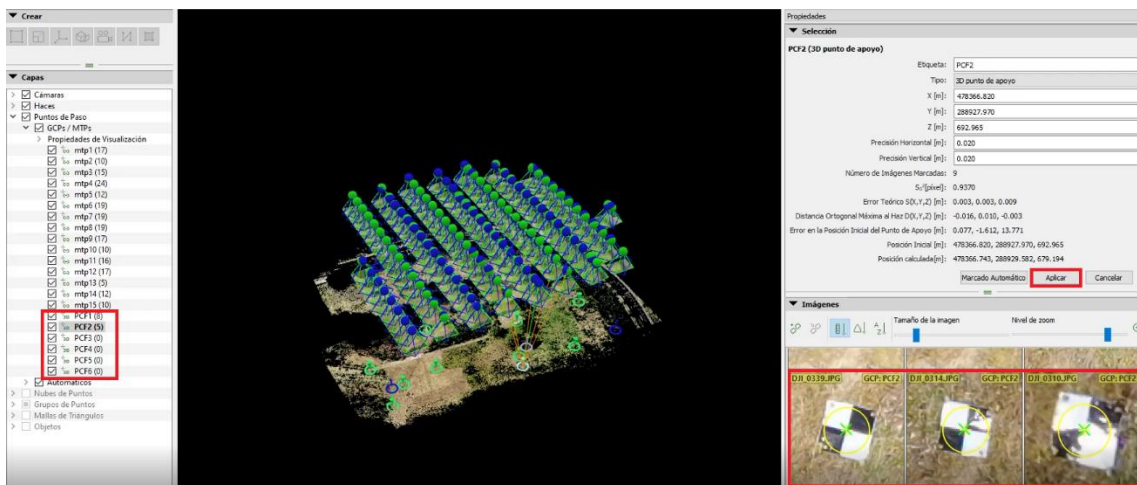


Figura 218. Ajuste visual de puntos de paso en lonas.

(Fuente: Creación propia)

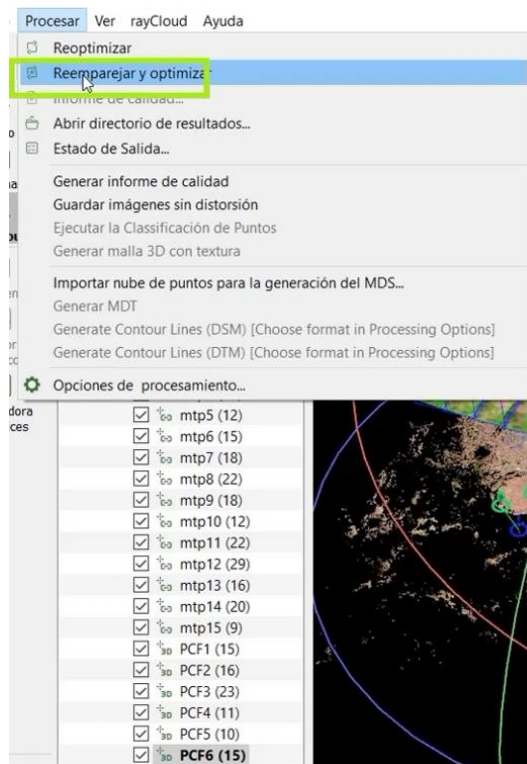


Figura 219. Reemparejar y optimizar.

(Fuente: Creación propia)

- Después de Reemparejar y optimizar se realiza el guardado del procesamiento y debemos generar nuevamente el informe de calidad, ver figura 220.

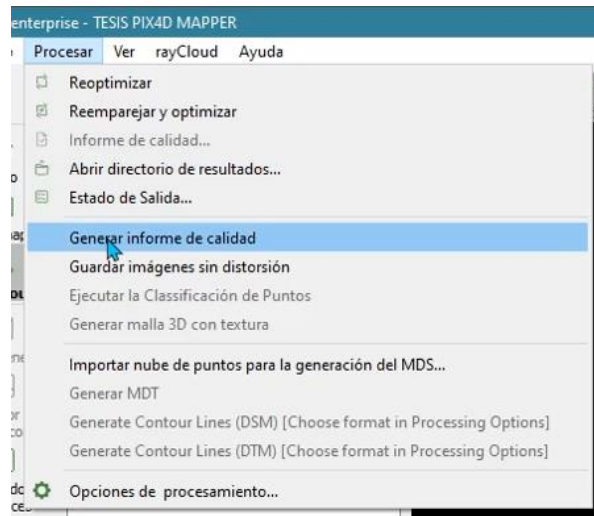


Figura 220. Generar informe de calidad preliminar.

(Fuente: Creación propia)

- El informe de calidad generado ahora ya no brinda ningún check en amarillo ni color rojo como inicialmente mostraba, ver figura 221.



Figura 221. Informe de calidad preliminar.

(Fuente: Creación propia)

#### 4.2.9 Generación de Nube densa de puntos

Una vez ingresados los puntos de paso y los puntos de apoyo, continuaremos con el “Paso 2”, en la parte inferior izquierda desmarcamos el paso 1 de procesamiento inicial y marcamos el paso 2 de Nube de puntos y malla, de igual forma en ingresamos en las opciones de procesamiento y en la ventana seleccionamos la opción 2 de Nube de puntos y Malla, en la pestaña de Nube de puntos colocamos los siguientes datos:

- Escala de imagen:  $\frac{1}{2}$  (Mitad de tamaño de imagen, Por defecto)
- Densidad de los puntos: Óptima
- Número mínimo de emparejamiento: 3
- Marcamos la casilla de “Clasificar la nube de puntos”
- Marcar la opción “LAS” en la parte de “Exportar”, ver figura 222.

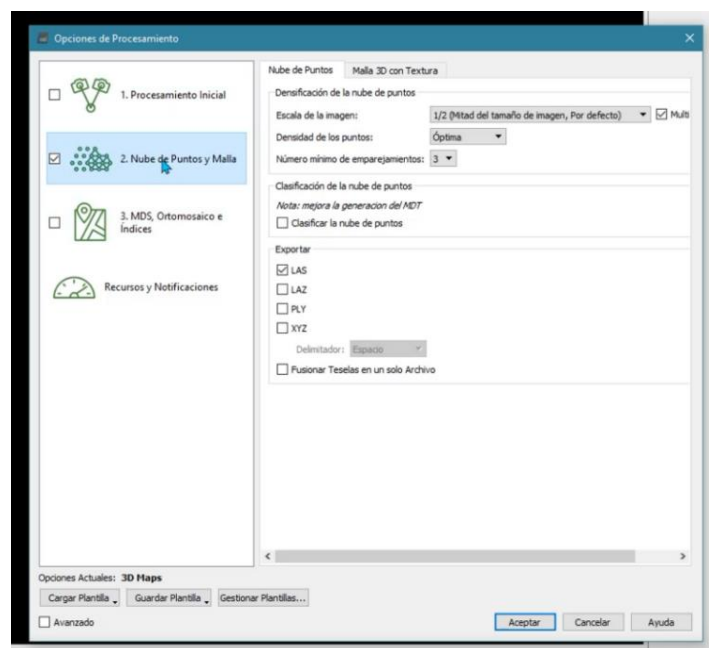


Figura 222. Opciones de procesamiento para nube de puntos densa.

(Fuente: Creación propia)

Posterior a eso en la pestaña de malla de textura, seleccionamos las siguientes opciones:

- Marcar la casilla de “Generar malla 3D con textura”, en la opción de “Generar”
- En la opción de configuración marcar “Resolución media (defecto)”
- Marcar la casilla de “Usar balanceado de color para texturas”
- Para la opción de exportar marcamos las opciones de FBX y OBJ, ver figura 223.

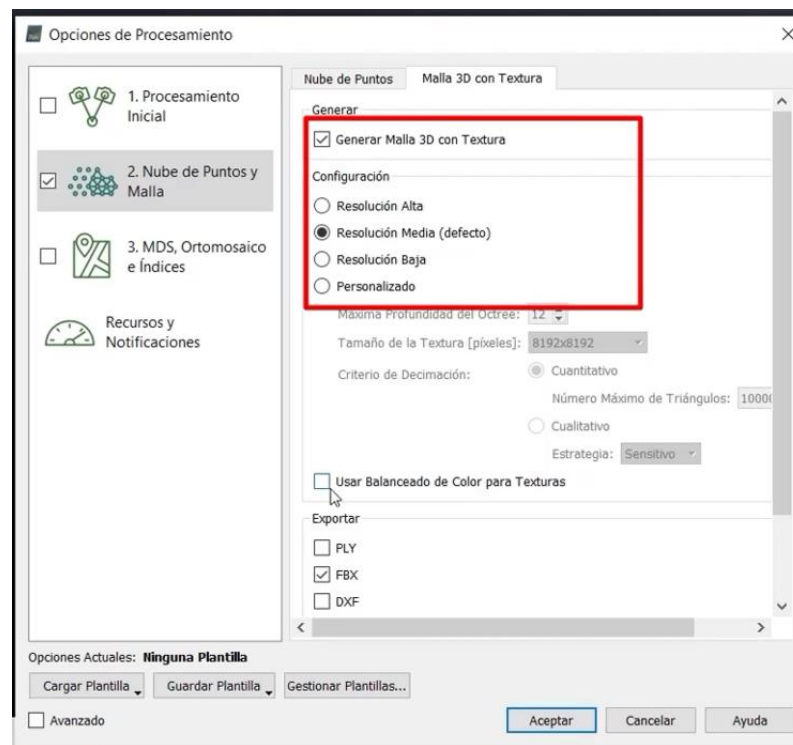


Figura 223. Opciones de procesamiento para malla 3D con textura.

(Fuente: Creación propia)

Realizado este proceso le damos en la opción de Aceptar y automáticamente el programa empieza a realizar el procesamiento para la obtención de la nube de

puntos, el tiempo de procesamiento dependerá de la capacidad de la computadora con la que se esté realizando, una vez finalizado el procesamiento el programa automáticamente muestra una nueva ventana con el detalle de calidad de la nube de puntos, ver figura 224.



Figura 224. Informe de calidad-nube de puntos densa.

(Fuente: Creación propia)

Al finalizar este proceso se puede observar en la opción de “Capas” que se han activado las casillas de “Nube de puntos” y la casilla de “Mallas de Triángulos” al activar ambas casillas nos aparece en pantalla la imagen del terreno real, señalando los puntos de paso ingresados y los puntos de apoyo levantados, ver figura 225.

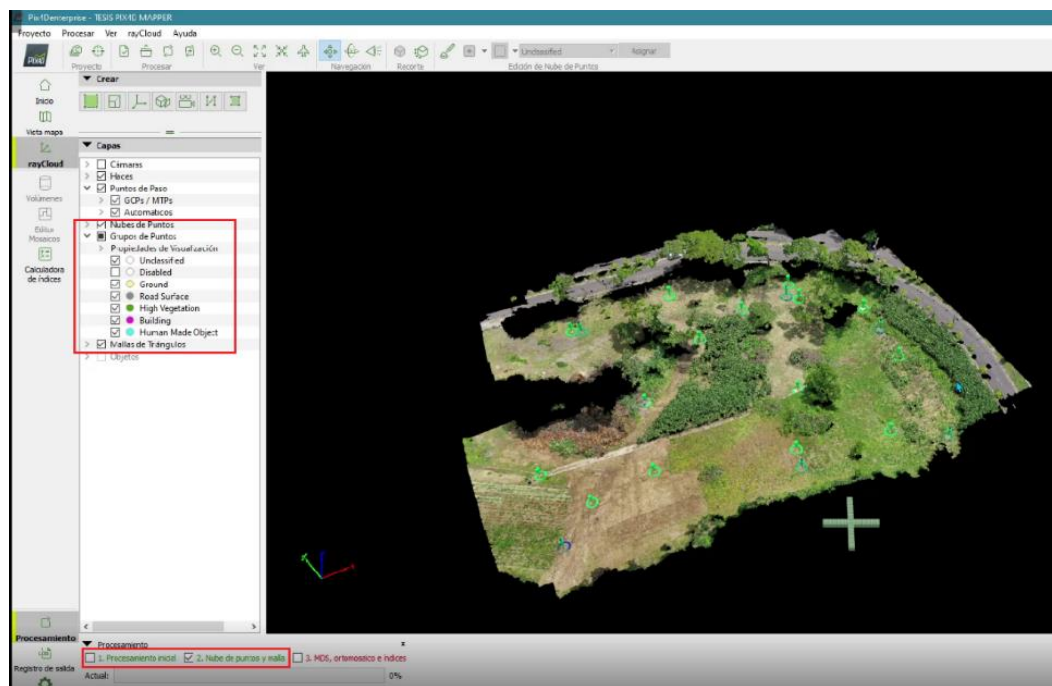


Figura 225. Nube de puntos densa.

(Fuente: Creación propia)

#### 4.2.10 Ortomosaico, MDE, MDT y curvas de nivel

El paso 2 nos generó la nube de puntos y la malla de triángulo, ahora continuaremos con el paso 3 para este proceso ingresamos en procesamiento, deshabilitamos el procesamiento “2. Nube de puntos y malla” y habilitamos el punto “3.MDS, Ortomosaico e índices”; Luego ingresamos en opciones de procesamiento y de igual manera en la ventana que se muestra se deshabilitan las opciones 1 y 2 y habilitamos la opción 3, en la pestaña MDS y Ortomosaico escogemos las siguientes opciones:

- Resolución: Automático 1 x GSD (0.77403 (cm/pixel))
- En filtros para MDS se dejan seleccionadas las casillas para Usar filtro de ruido y Usar suavizado de superficie, en Tipo se deja la opción “Afilada”

- Raster MDS, se deja seleccionado GeoTIFF y Método Ponderación de distancia inversa y seleccionada la casilla de Fusionar Teselas
- En la opción de Ortomosaico se selecciona únicamente las casillas de GeoTIFF y Fusionar Teselas, ver figura 226.

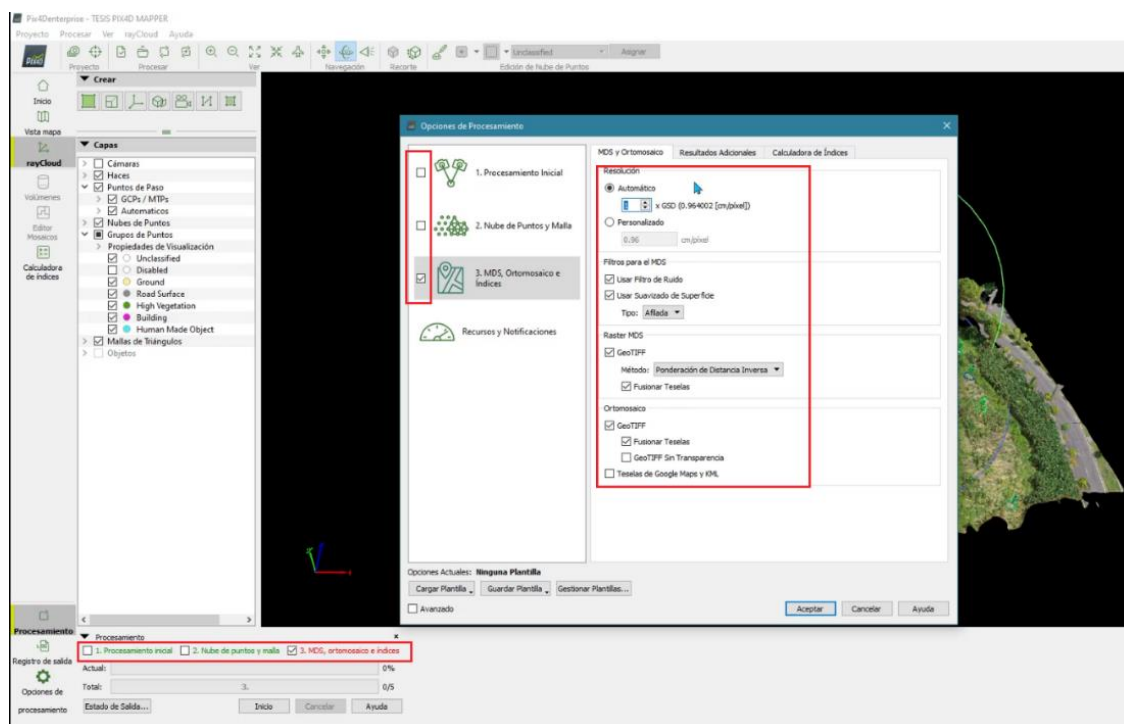


Figura 226. Opciones para procesamiento de MDS y Ortomosaico.

(Fuente: Creación propia)

En la pestaña de resultados adicionales, seleccionamos las siguientes opciones:

- Raster MDT se selecciona únicamente las casillas de GeoTIFF y Fusionar Teselas
- Resolución Raster MDT Automático 5 x GSD (0.77403 (cm/pixel))
- Curvas de nivel se selecciona las opciones SHP y DXF, base curva de nivel (m) = 0, intervalo de alturas (m) =1, Resolución (cm) =100, Longitud mínima de curvas (vértices) = 20, ver figura 227.

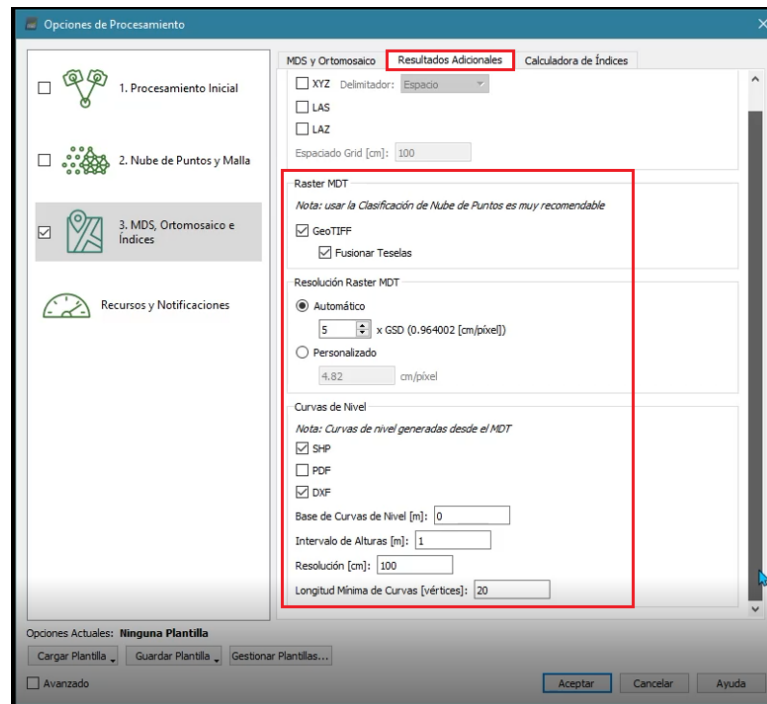


Figura 227. Opciones para resultados adicionales.

(Fuente: Creación propia)

Luego de seleccionar las opciones anteriores, se da click en aceptar, luego en iniciar y comenzara el procesamiento y una vez finalizado el procesamiento el programa automáticamente muestra nuevamente la ventana con el detalle de calidad, con todos los detalles mostrados anteriormente como son la georreferenciación, el MDT, la ortofoto o el Ortomosaico ya con su resultado final, ver figura 228.

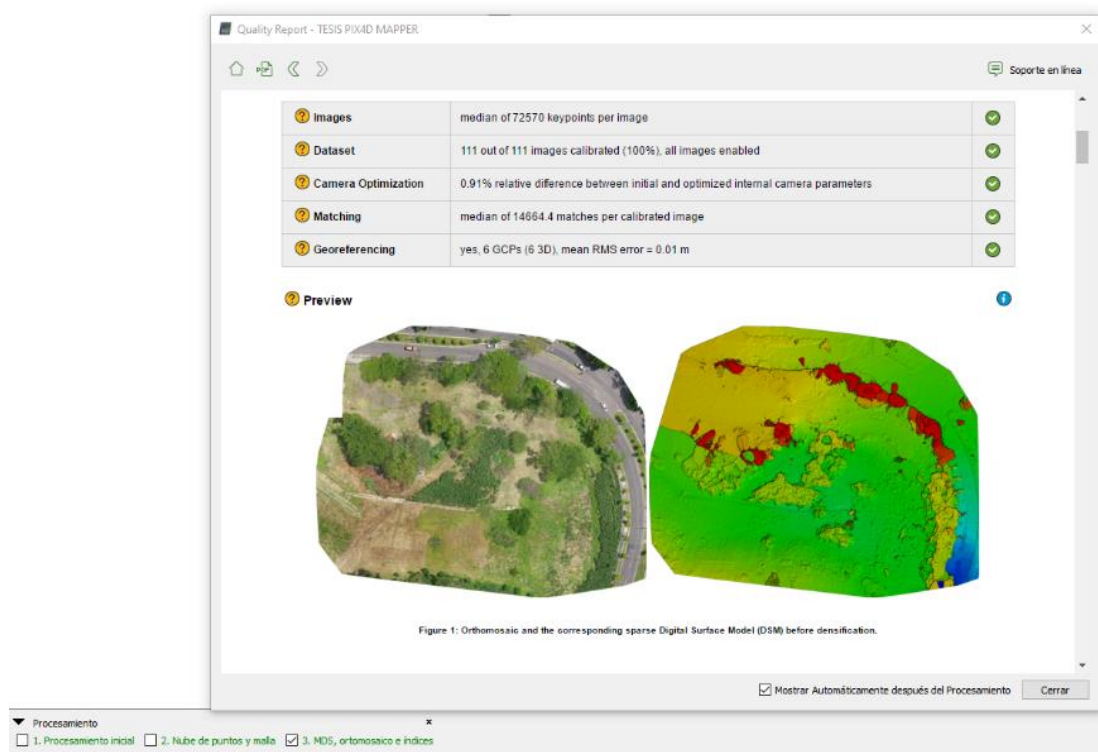


Figura 228. Informe de calidad final.

(Fuente: Creación propia)

Una vez revisado el informe de calidad y confirmando que los parámetros se encuentren en los rangos requeridos de errores, ingresamos en “Editor Mosaicos” y automáticamente inicia el análisis y carga de tres respuestas el DSM, DTM y el Ortomosaico, ver figura 229.

Al finalizar el procedimiento mencionado en la carpeta creada inicialmente nos aparecerán tres nuevas carpetas con cada uno de los procesamientos realizados, donde dentro de ellas se encuentran los resultados de cada uno de los pasos realizados, ver figura 230.

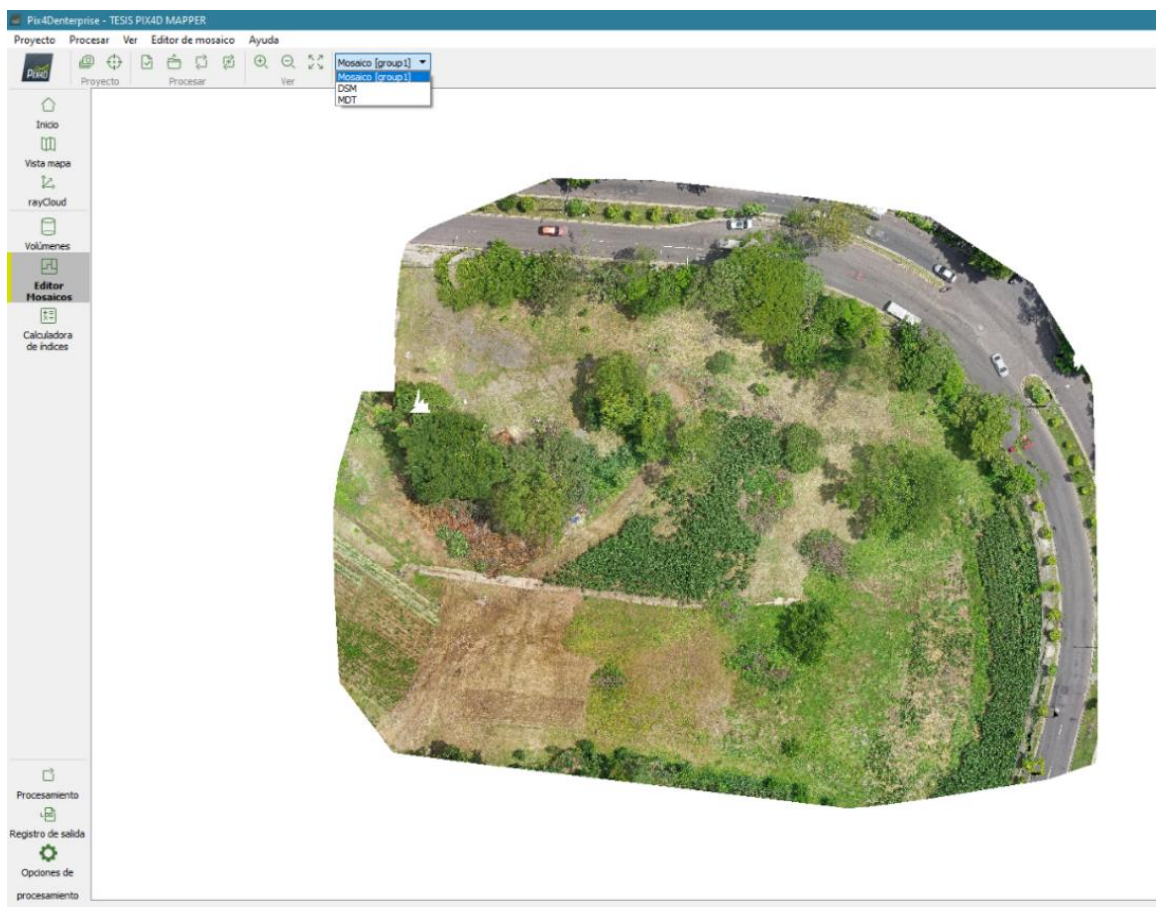


Figura 229. Ortomosaico.  
(Fuente: Creación propia)

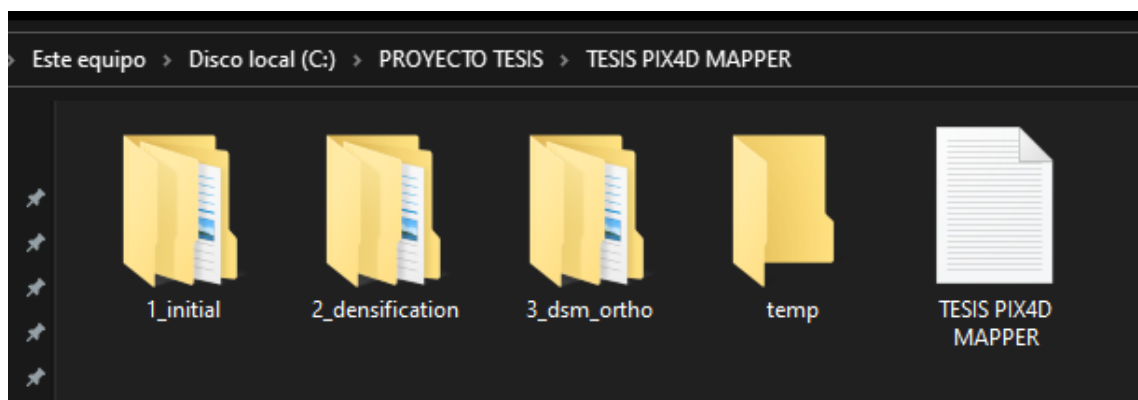


Figura 230. Carpetas de resultados.  
(Fuente: Creación propia)

## 4.3 Global Mapper: Procesamiento de datos.

### 4.3.1 Creación de capa para PCF

Para realizar el procesamiento de la información del dron se utilizará la herramienta “Pixels to Points Tool” al hacer clic se habilita una nueva ventana donde se debe configurar la información para realizar el procesamiento, cuando se realiza la importación de imágenes esta se cargara con el sistema de coordenadas de entrada sin ningún problema pero para el caso de los puntos de control, estos se cargan por defecto en el sistema de coordenadas geográficos WGS84, para que se carguen en el sistema que se encuentran primero se deben definir en la configuración del espacio de trabajo, para ello ingresamos a la opción de configuración y seleccionamos proyección, definimos el sistema a utilizar, en este caso sistema LAMBERT SIRGAS\_ES2007.8, seleccionamos la opción “Load From File...” y seleccionamos el archivo PRJ de nuestro sistema, automáticamente se cargaran los datos correspondiente al sistema de coordenadas cargado, ver figura 231.

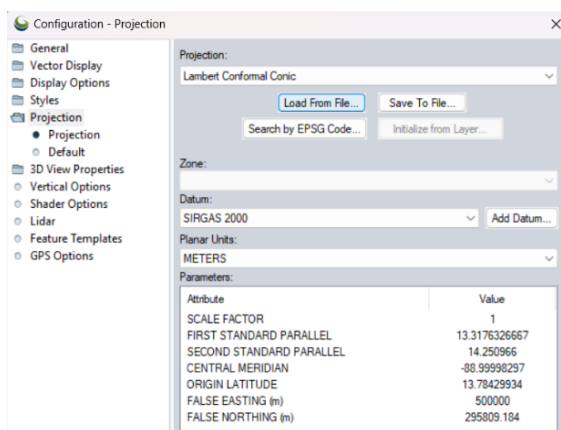


Figura 231. Configuración de sistema de proyección.

(Fuente: Creación propia)

A pesar de ser definido el sistema de coordenadas de la manera anterior si no se tiene cargado ninguna capa en el espacio de control center, los puntos de control se cargarán con el sistema geográfico por lo que ideal sería cargar el mismo archivo de los puntos de control en el control center, por lo tanto, se debe realizar la importación, el archivo está definido en coordenadas nombre, x y z, ver figura 232.

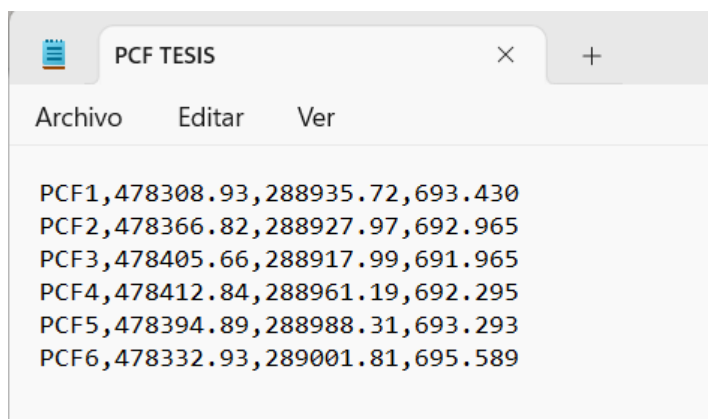


Figura 232. Puntos de control fotogramétricos.

(Fuente: Creación propia)

Para realizar la importación solamente se arrastra el archivo txt al espacio de trabajo, automáticamente se habilita una nueva ventana donde se deben seleccionar las opciones de acuerdo al archivo a importar, ver figura 233, una vez configuradas las propiedades del archivo se selecciona la opción Ok y brinda una nueva ventana donde indica que la proyección del archivo no fue automáticamente determinada y solicita que se le ingrese el sistema de coordenadas, ver figura 234, seleccionamos ok y cargamos el archivo PRJ del sistema de coordenadas LAMBERT SIRGAS\_ES2007.8, ver figura 235, automáticamente se cargan los detalles de la proyección, seleccionamos aceptar y se mostraran en el espacio de trabajo los PCF seleccionados, ver figura 236.

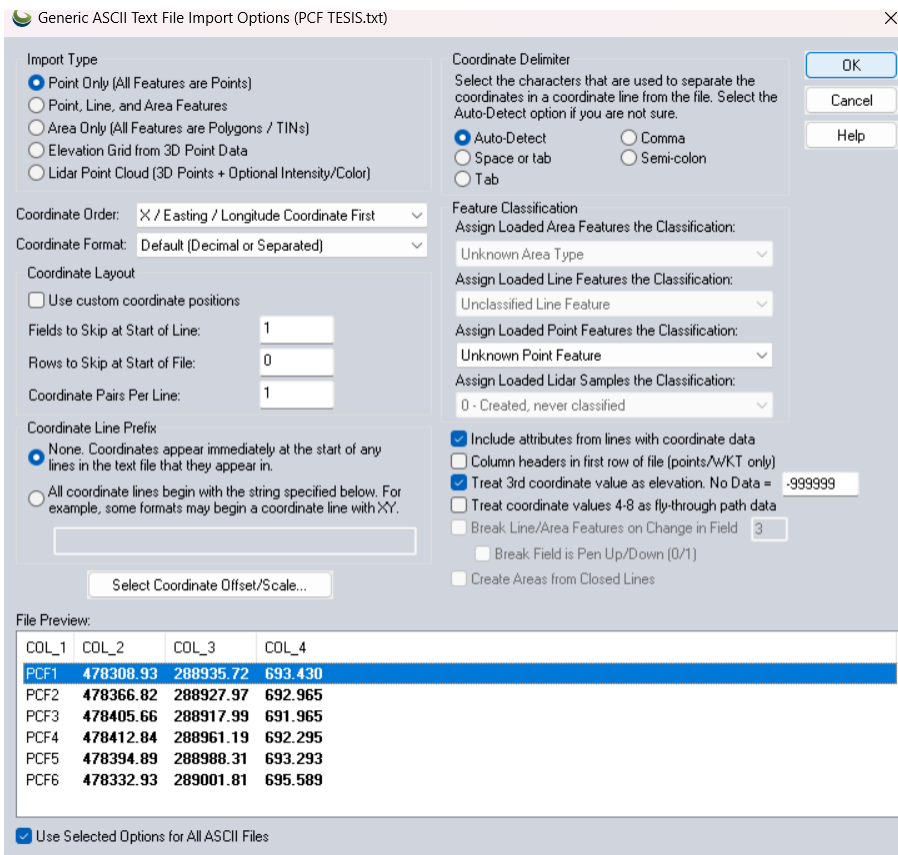


Figura 233. Propiedades para importación de PCF.

(Fuente: Creación propia)

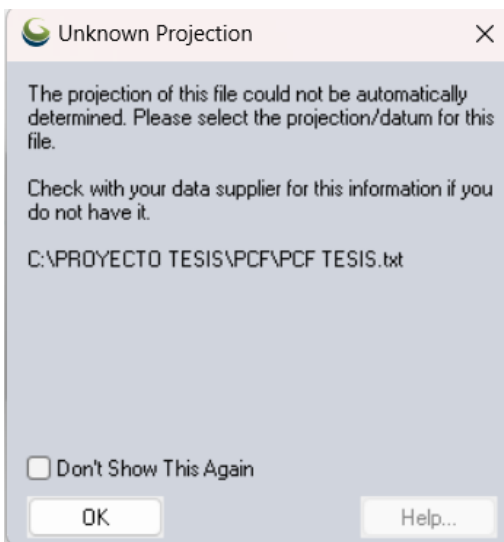


Figura 234. Proyección no determinada.

(Fuente: Creación propia)

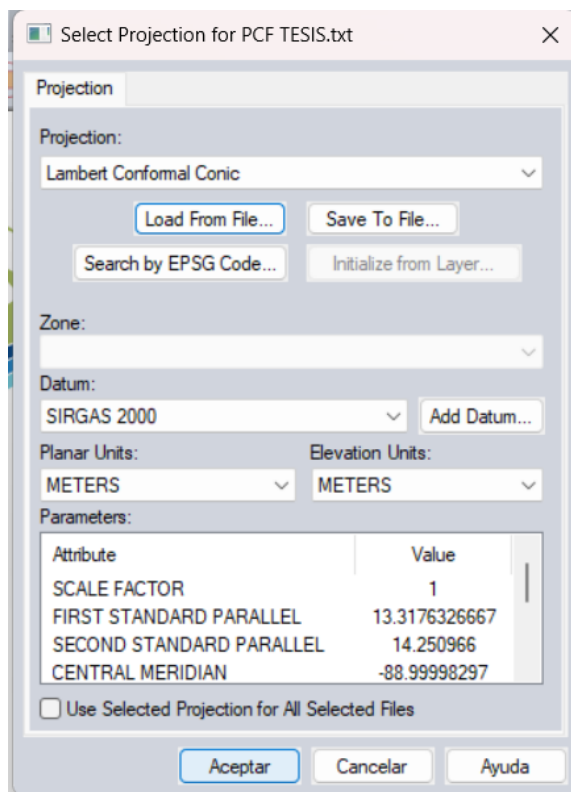


Figura 235. Selección proyección para PCF.

(Fuente: Creación propia)

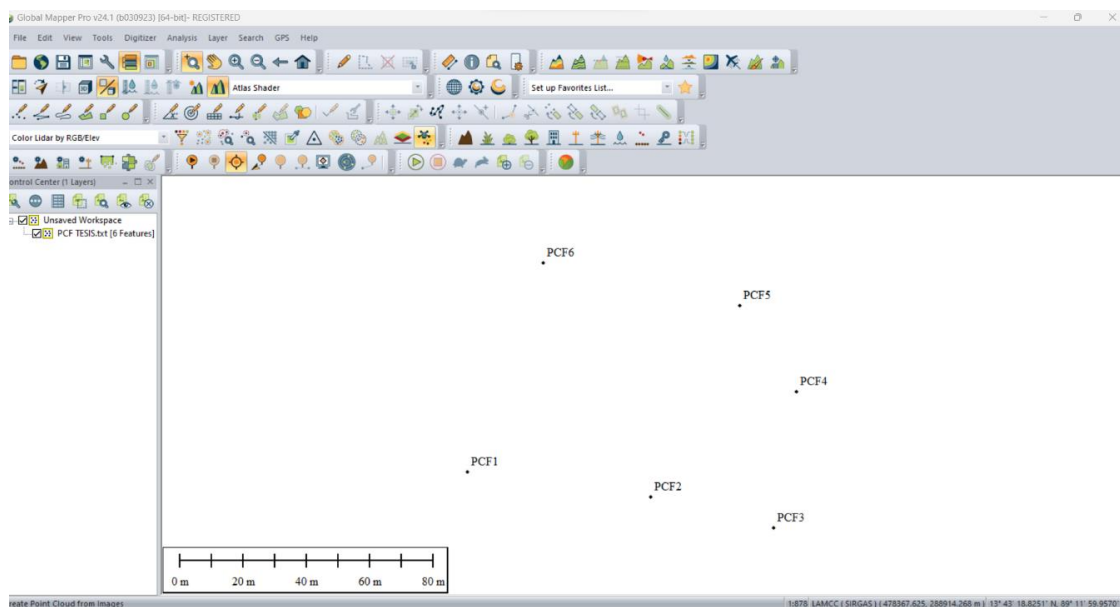
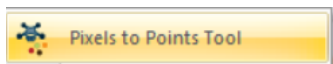


Figura 236. PCF en espacio de trabajo

(Fuente: Creación propia)

### 4.3.2 Importación de Imágenes

Finalizada la carga de los PCF, ingresamos a la opción “Pixels to Points Tool”



, se habilita una nueva ventana donde se deben de añadir las imágenes y los PCF, para añadir las imágenes seleccionamos la opción “File”, luego en “Add Image File(s)...”, seleccionamos todas las imágenes tomadas en el vuelo y luego clic en Abrir, ver figura 237, se cargarán todas las imágenes seleccionadas con sus coordenadas respectivas, ver figura 238.

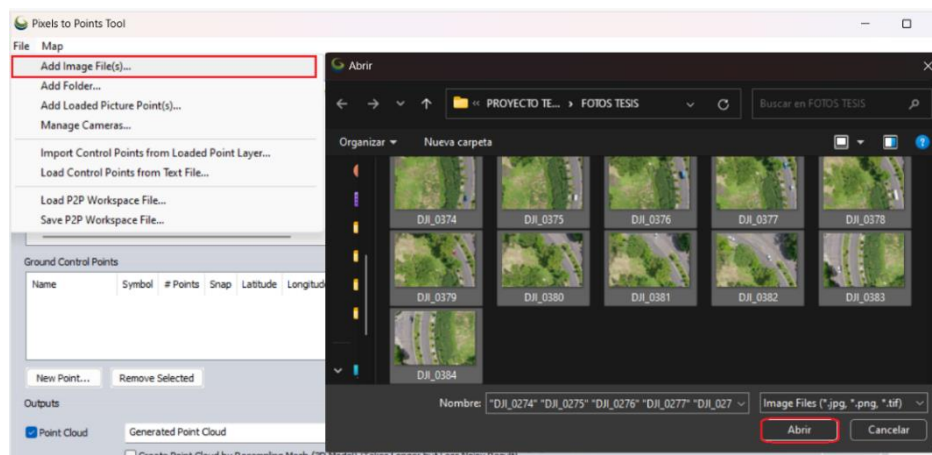


Figura 237. Añadir imágenes

(Fuente: Creación propia)

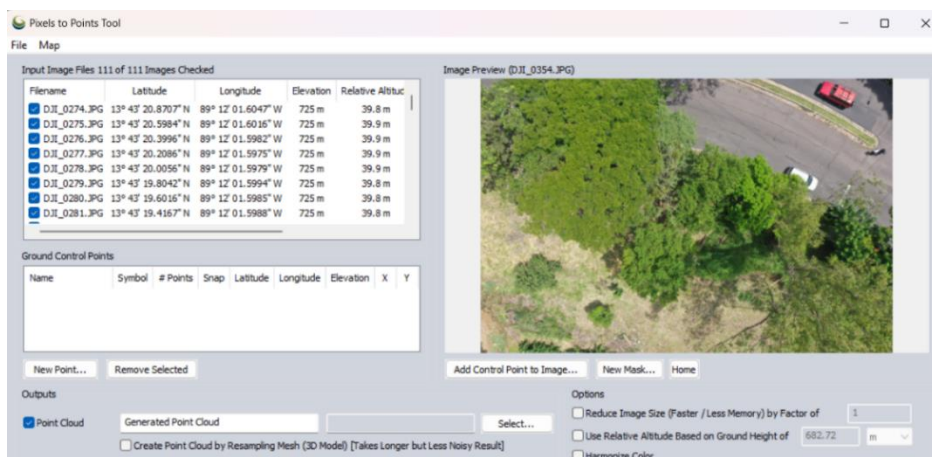


Figura 238. Detalle de imágenes añadidas.

(Fuente: Creación propia)

### 4.3.3 Importación de PCF

Luego realizamos para añadir los puntos de control, ingresamos a “File”, luego a “Import Control Points from Loaded Point Layer” que significaría agregarlos a partir de la capa de puntos creada anteriormente, se habilita una nueva ventana donde se debe de seleccionar la capa donde se encuentran los PCF a añadir en este nombrado como “PCF TESIS” seleccionamos OK y automáticamente se añaden a la ventana principal de Pixels to Points Tool, el programa realiza la transformación a Latitud y Longitud, también muestra los valores de elevaciones y los datos en X y Y, ver figura 239.

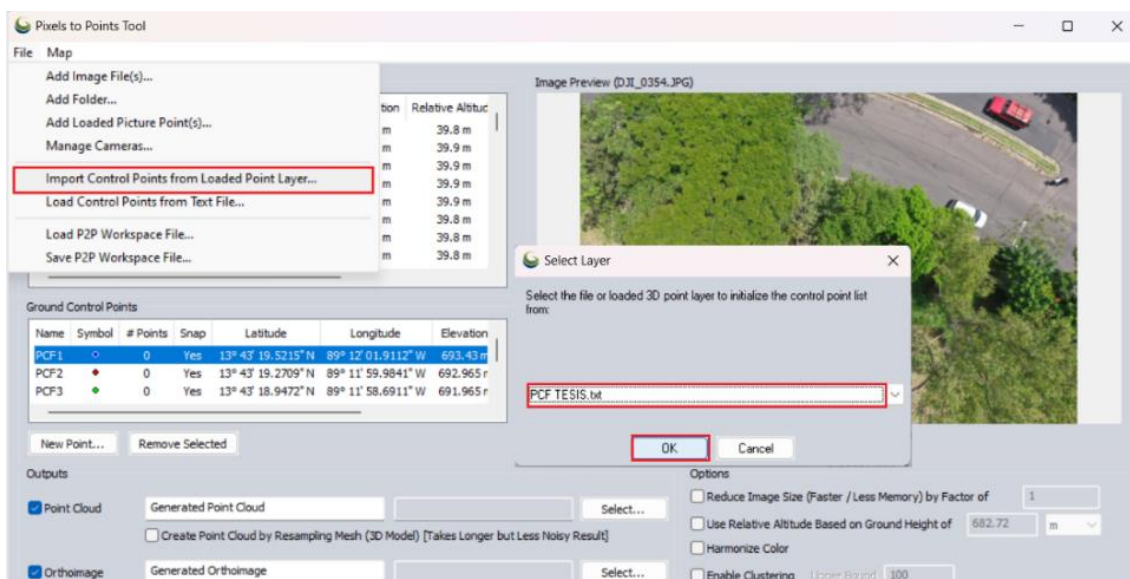


Figura 239. Importación de PCF.

(Fuente: Creación propia)

Al dar doble clic sobre uno de los puntos se habilita una nueva ventana donde se puede cambiar la simbología, la unidad de elevación, modificar el punto por otros de los que están cargados entre otros, ver figura 240.

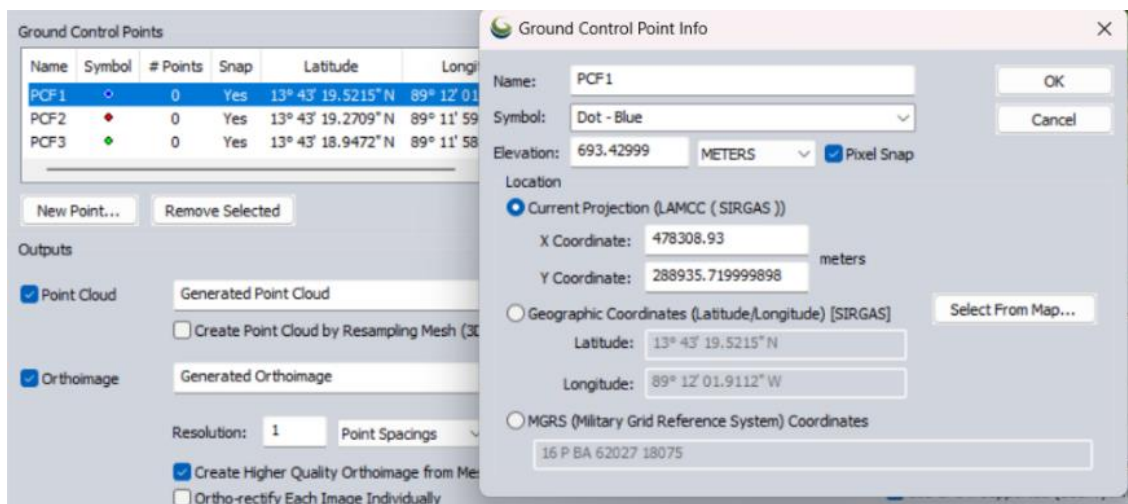


Figura 240. Información del punto de control terrestre.

(Fuente: Creación propia)

Al dar clic sobre uno de los puntos, y revisamos las imágenes se puede observar que algunas imágenes se resaltan en color verde, esto significa que estas imágenes es donde se encuentra el punto seleccionado, al hacer clic sobre una de estas imágenes se muestra la vista previa al lado derecho, para añadir el punto únicamente nos vamos acercando hasta encontrar el punto identificable en la imagen (lonas) y una vez encontrado en la imagen seleccionamos la opción “Add Control Point to Image” una vez añadido el punto en la imagen el detalle de esta imagen se muestra en color azul, indicando que el punto ha sido asignado en esa fotografía, ver figura 241, este proceso se debe realizar para cada punto y debe agregarse en al menos 3 a 4 imágenes, no es recomendable agregarlo en más fotografías porque en ocasiones esto puede generar más error.

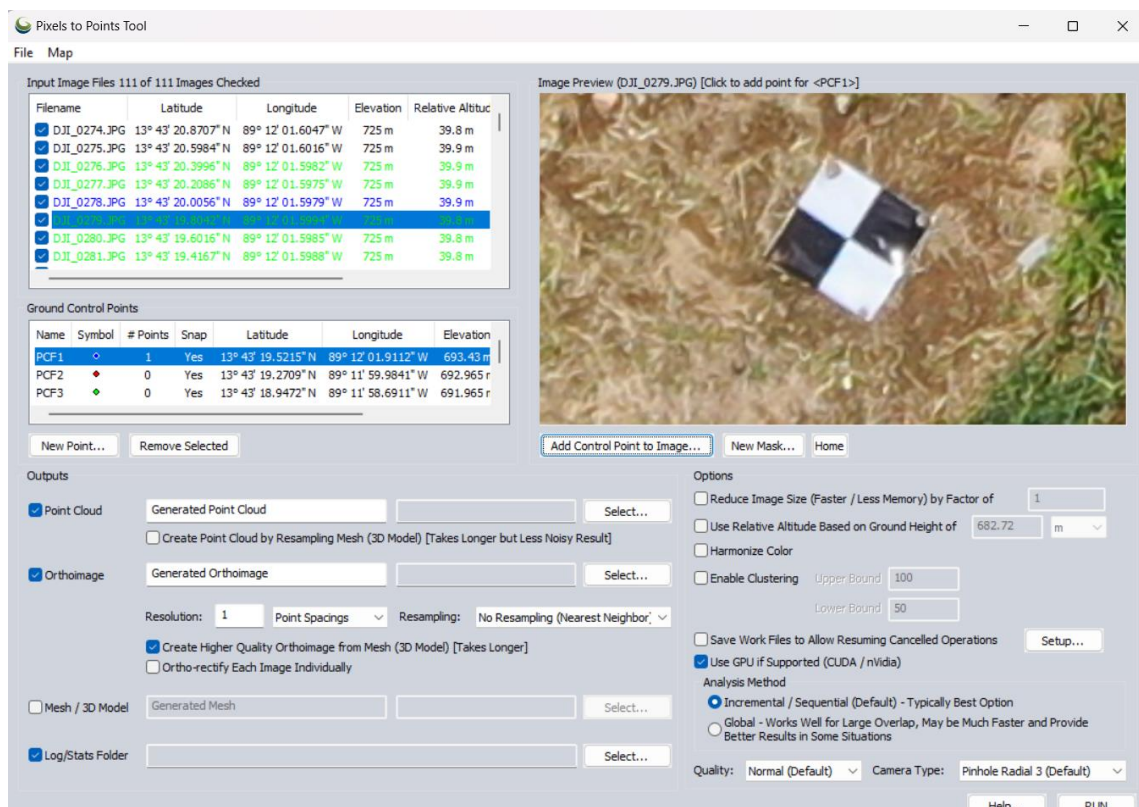


Figura 241. Información del punto de control terrestre.

(Fuente: Creación propia)

#### 4.3.4 Creación de máscaras

Una vez agregados todos los PCF, procedemos a crear máscaras para eliminar los objetos que no deseamos que se consideren en el procesamiento, en este caso los vehículos y personas que se capturaron en el vuelo, para ese caso seleccionamos la opción “New Mask...”, luego seleccionamos “Draw the Mask with Mouse Directly on the Image” y seleccionamos “Ok” y con el mouse y clic izquierdo vamos dibujando el área del objeto al que deseamos aplicar la máscara, ver figura 242, estas máscaras se deben ir agregando en cada fotografía donde se encuentra el objeto que no se desea considerar.

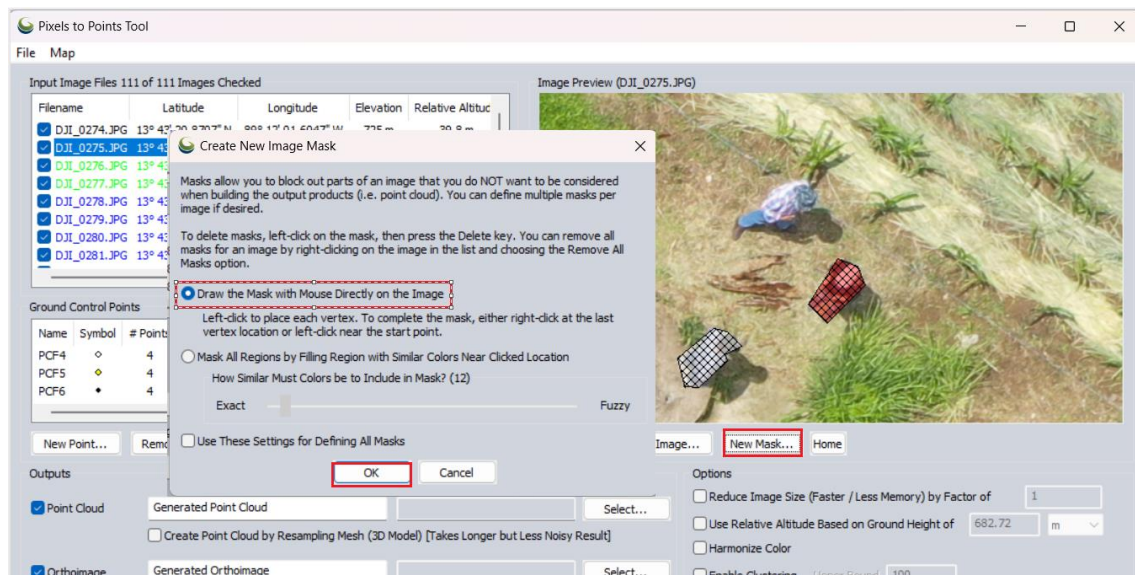


Figura 242. Creación de máscaras.

(Fuente: Creación propia)

#### 4.3.5 Creación de Nube de Puntos y Ortomosaico

La ventana principal de “Pixels to Points Tool” muestra las opciones Outputs donde se encuentran los detalles para “Point Cloud” y “Orthoimage” estas se deben dejar seleccionadas para que se creen en el procesamiento y se debe seleccionar la ubicación donde se desea que se almacenen estos productos, ingresando en la opción “Select...” y se elige la ruta para guardarla, aparece el apartado de “Create Point Cloud by Resampling Mesh (3D Model)”, si dejamos esta opción seleccionada por defecto la nube de puntos se generara a partir de la malla esta opción genera una nube de puntos más limpia con menos ruido pero el procesamiento es más tardado, para la ortofoto se encuentra la opción de resolución con la que se desea la ortofoto y las diferentes unidades, en este caso seleccionaremos 0.025 metros, en la opción de “Resampling” dejaremos

seleccionada la primera opción que aparece por defecto ya que esta opción es la más recomendable y más simple, se deja seleccionada la opción “Create Higher Quality Orthoimage from Mesh (3D Model)” para que se genere la ortofoto a partir de la malla 3D, se selecciona la opción de “Mesh/ 3D Model” si se desea almacenar la malla, se selecciona la opción “Log/Stats Folder” para almacenar los productos finales en archivo Log, adicional se selecciona la ruta donde se desea almacenar en este caso en la ubicación C:\PROYECTO TESIS\TESIS GLOBAL MAPPER, luego al lado derecho en el apartado de “Options” se dejan seleccionadas las opciones que se muestran en figura 243, para generar un procesamiento optimo, seleccionadas las opciones anteriores se da clic en RUN para iniciar el procesamiento.

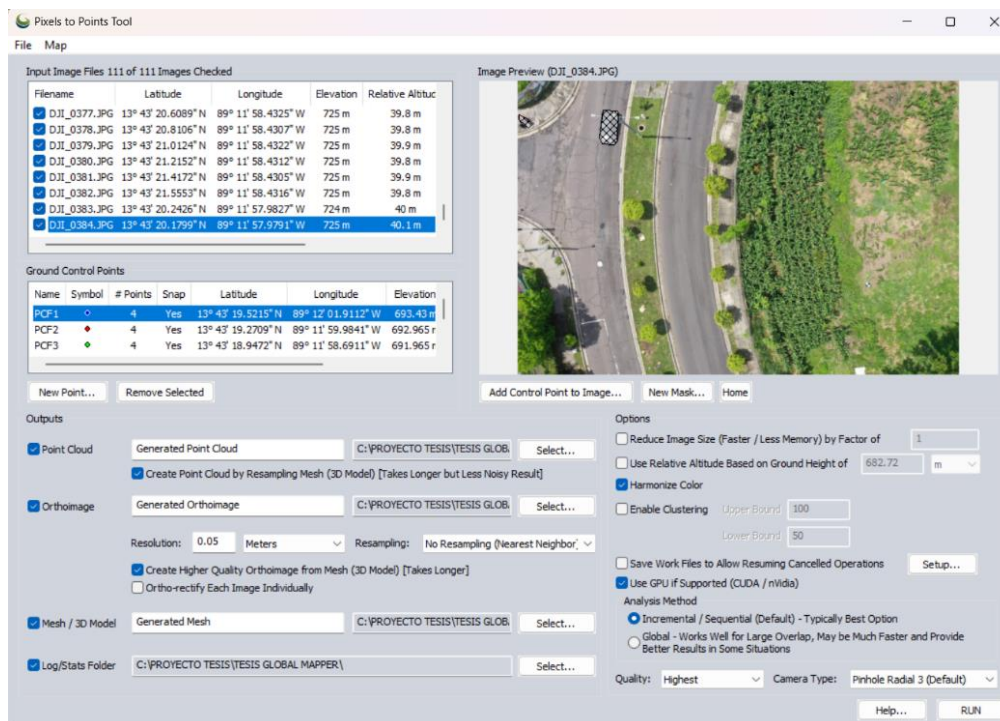


Figura 243. Configuraciones para Nube de Puntos y Ortofoto.

(Fuente: Creación propia)

Seleccionando la opción RUN inicia el procesamiento que tardara dependiendo la capacidad de la computadora utilizada, una vez finalizado el procesamiento se muestra una nueva ventana con el mensaje que se ha procesado correctamente la información, el tiempo de procesamiento, los productos obtenidos con su ubicación de almacenamiento y los errores de procesamiento damos clic en OK, ver figura 244, nos regresa a la ventana principal de “Pixels to Points Tool”, para almacenar la configuración indicada en esta ventana ingresamos en “File” luego en la opción “Save P2P Workspace File...” de esta manera posteriormente podremos cargarlo con la opción “Load P2P Workspace File”, ver figura 245.

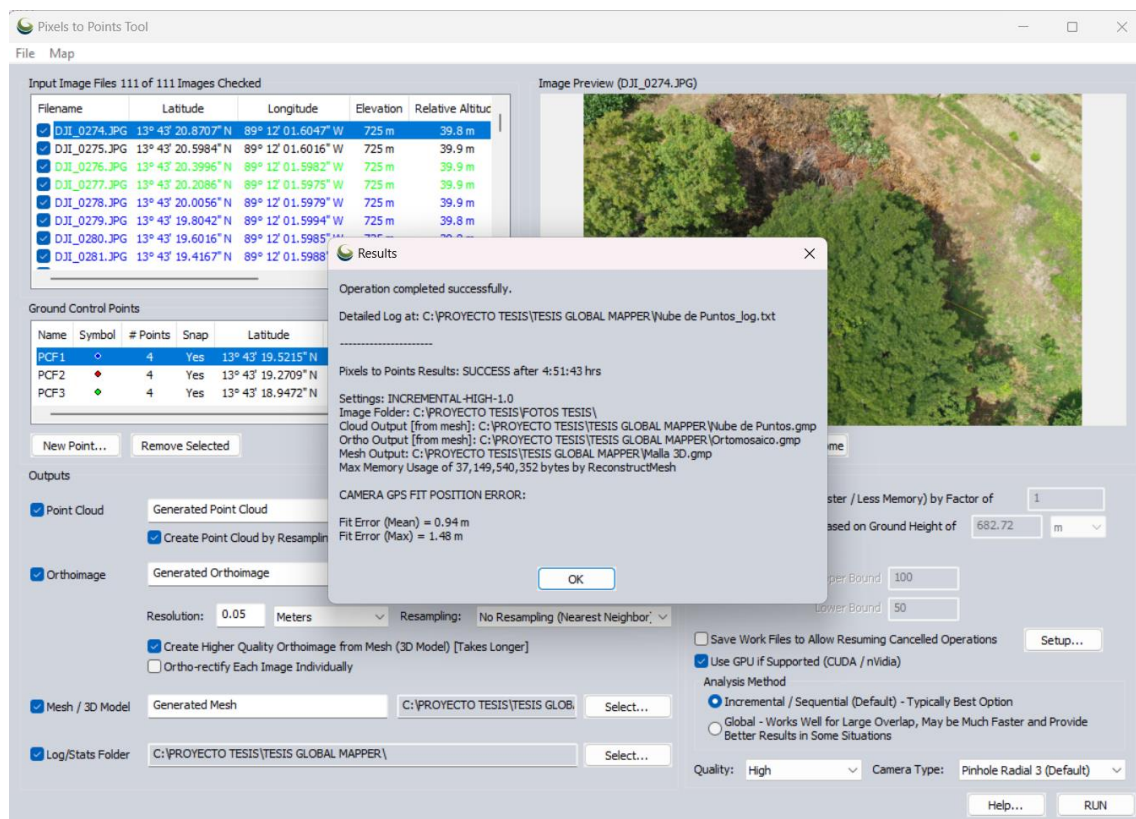


Figura 244. Finalización de procesamiento.

(Fuente: Creación propia)

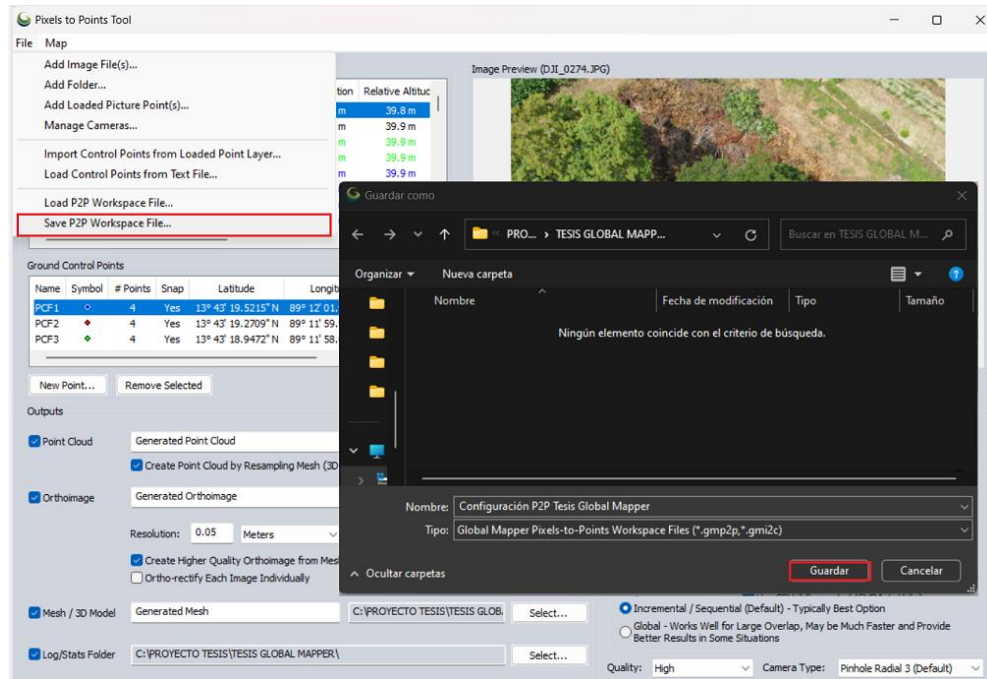


Figura 245. Guardar configuración Pixels to Points Tool.

(Fuente: Creación propia)

Finalizado estos procesos podemos observar en la interfaz del programa todos los productos generados, ver figura 246.

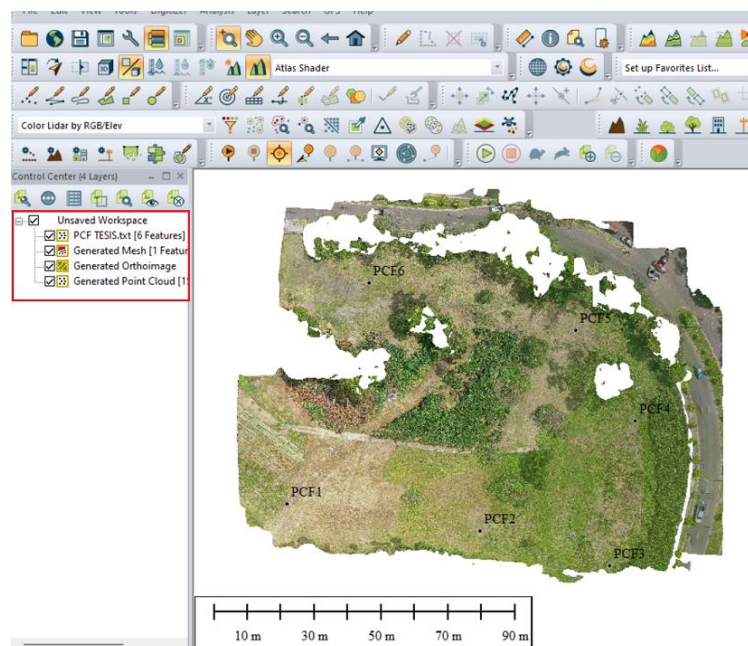
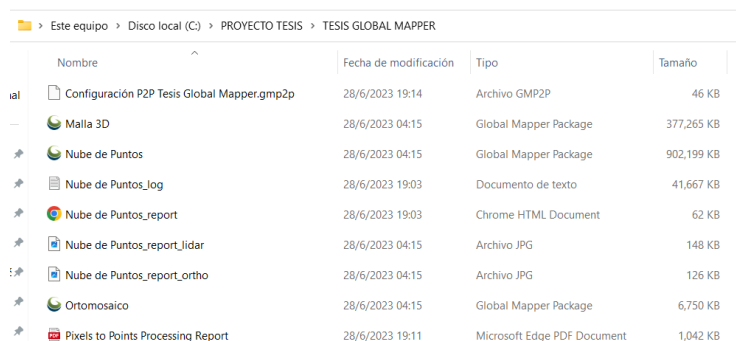


Figura 246. Productos finales.

(Fuente: Creación propia)

Y en la carpeta creada para el procesamiento se pueden observar todos los archivos de los productos generados en los diferentes formatos log, jpg, gmp, gmp2p, html, entre otros ver figura 247.



Nombre	Fecha de modificación	Tipo	Tamaño
Configuración P2P Tesis Global Mapper.gmp2p	28/6/2023 19:14	Archivo GMP2P	46 KB
Malla 3D	28/6/2023 04:15	Global Mapper Package	377,265 KB
Nube de Puntos	28/6/2023 04:15	Global Mapper Package	902,199 KB
Nube de Puntos_log	28/6/2023 19:03	Documento de texto	41,667 KB
Nube de Puntos_report	28/6/2023 19:03	Chrome HTML Document	62 KB
Nube de Puntos_report_lidar	28/6/2023 04:15	Archivo JPG	148 KB
Nube de Puntos_report_ortho	28/6/2023 04:15	Archivo JPG	126 KB
Ortomosaico	28/6/2023 04:15	Global Mapper Package	6,750 KB
Pixels to Points Processing Report	28/6/2023 19:11	Microsoft Edge PDF Document	1,042 KB

Figura 247. Archivos de productos finales.

(Fuente: Creación propia)

Si se desea exportar la ortofoto en un formato TIFF se puede realizar seleccionando la ortofoto, luego en la opción File, elegimos Export y luego “Export Raster/Image Format” se habilita una nueva ventana y se selecciona el formato en el que se quiere exportar, ver figura 248, luego seleccionamos la ubicación donde queremos que se guarde el archivo y seleccionamos guardar.

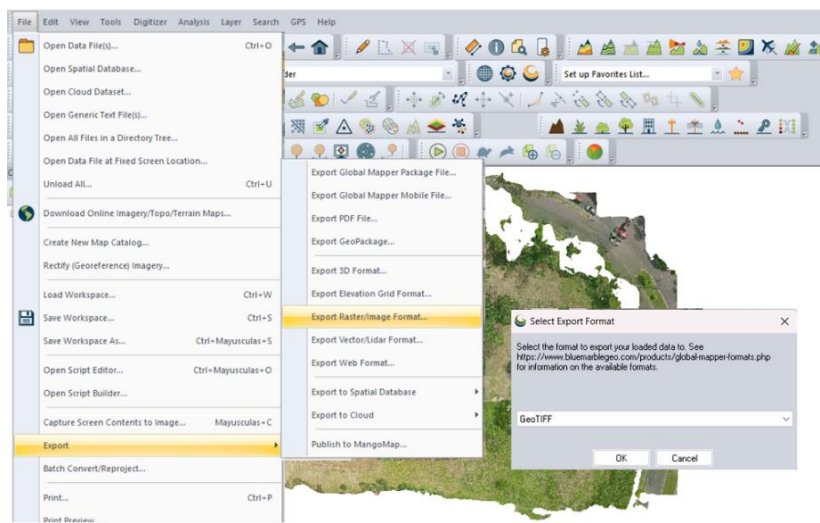


Figura 248. Exportar Ortofoto en formato TIFF.

(Fuente: Creación propia)

Global Mapper no logra interpolar bien la zona de los bordes por lo que se observan en la ortofoto final unos tipos de huecos (zonas blancas), ver figura 249.




*Figura 249. Ortofoto.*

*(Fuente: Creación propia)*

### **4.3.6 Clasificación de nube de puntos**

#### **4.3.6.1 Clasificación Manual**

Para generar la clasificación de la nube de puntos de manera manual, seleccionamos con la opción de “Select by Drawing Polygon”  el área que deseamos clasificar, dibujando el contorno directamente en la nube de puntos densa ver figura 250, seleccionada el área se da clic en la barra de opciones de clasificación y se selecciona la categoría a la que corresponde el área marcada, en este caso seleccionamos un área de vegetación alta, ver figura 251, este procedimiento se debe realizar para todas las áreas de la nube de puntos y

clasificarse según corresponda, terreno, vegetación baja, vegetación media, vegetación alta, edificio, agua, etc., todas estas opciones se encuentran disponibles en la opción de Lidar (Manual Classification) ver figura 252.



Figura 250. Selección de área a clasificar.

(Fuente: Creación propia)

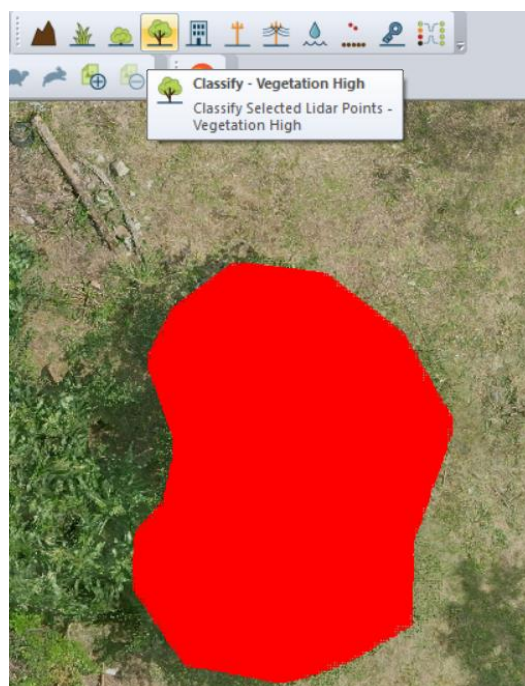


Figura 251. Clasificación de área seleccionada.

(Fuente: Creación propia)

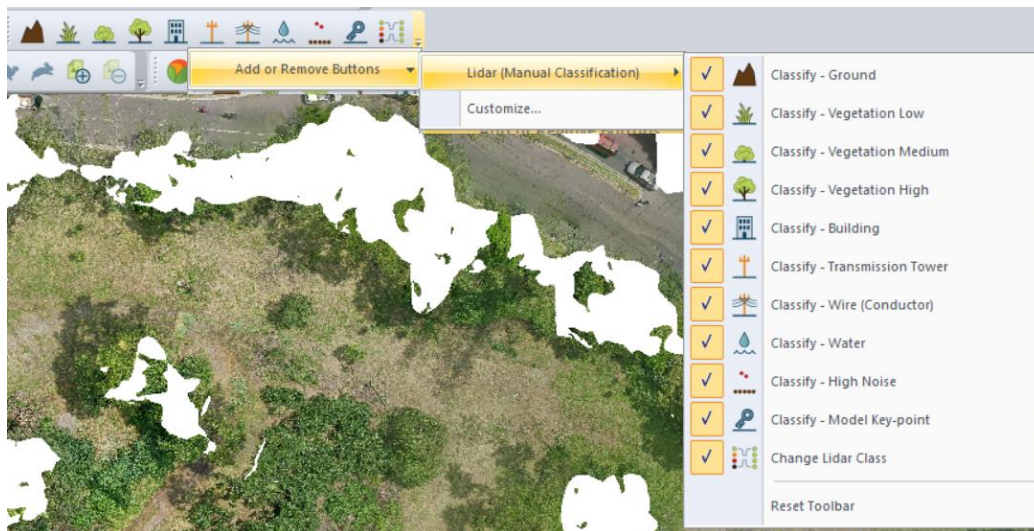


Figura 252. Lidar (Clasificación Manual).

(Fuente: Creación propia)

#### 4.3.6.2 Clasificación Automática

La otra opción disponible es la clasificación automática, la cual se recomienda para clasificar el suelo (terreno) esta se realiza ingresando a las opciones de Lidar (Automatic Classification) ver figura 253, seleccionamos la opción “Auto-Classify Ground Points” se habilita una nueva ventana para indicar los valores que utilizara el programa para realizar la clasificación, se dejan los valores que el software establece como criterio (valores predeterminados), ver figura 254.

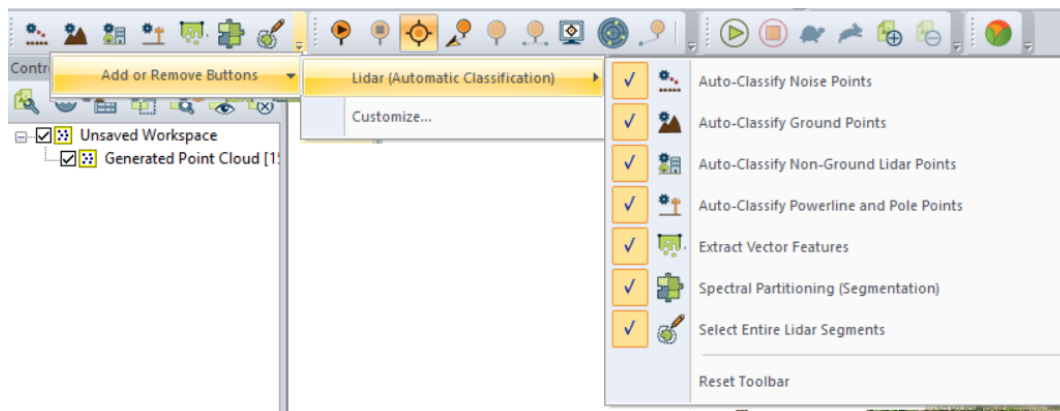


Figura 253. Clasificación automática de puntos.

(Fuente: Creación propia)

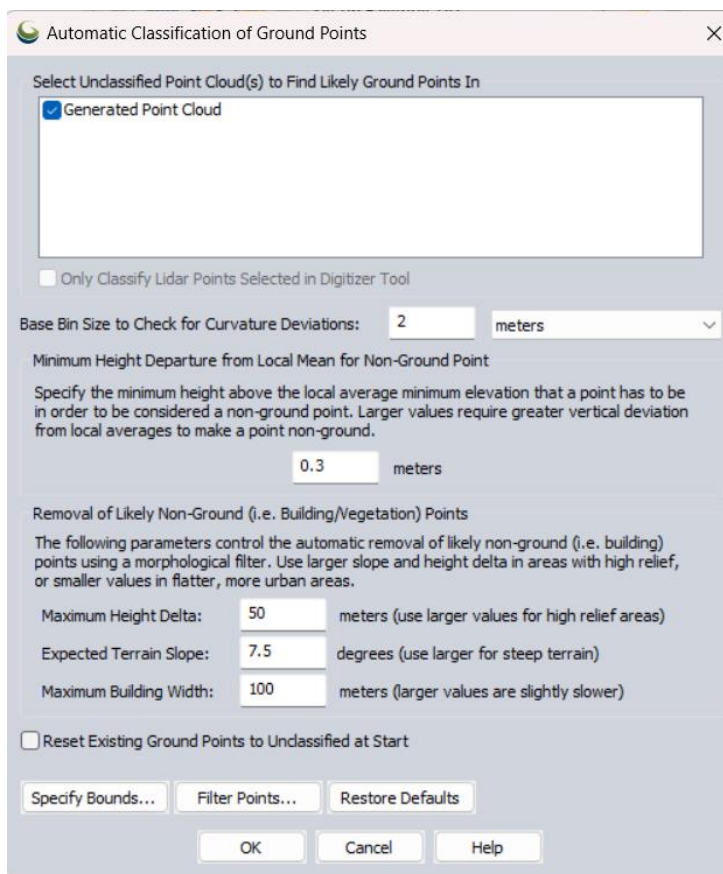



Figura 254. Parámetros para clasificación automática de puntos de suelo.  
(Fuente: Creación propia)

Seleccionamos ok y finalizado el procesamiento podemos observar la clasificación ingresando en la opción “Lidar Draw Mode” desplegamos el listado y seleccionamos la opción “Color Lidar by Classification”, de esta manera en la pantalla principal se mostrará la nube de puntos con la clasificación de suelo realizada, ver figura 255, la clasificación realizada es bastante exacta y si es necesario clasificar algunos puntos extras  se puede realizar por medio de la clasificación manual y si alguna clasificación se quiere reclasificar, solamente se ingresa en la opción “Change Lidar Class” y se selecciona la clase a cambiar y la clase nueva a asignarle a esas áreas, ver figura 256.

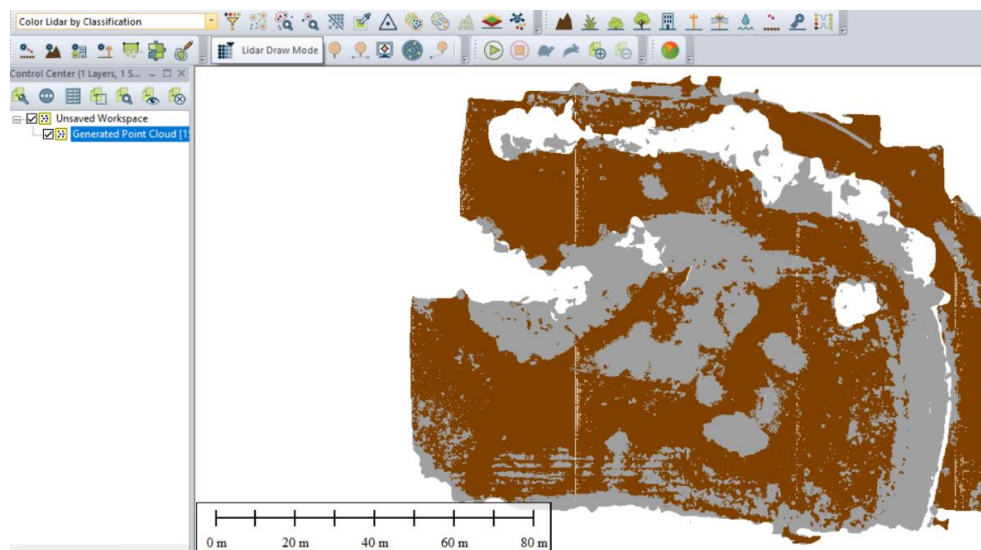


Figura 255. Nube de puntos clasificada con puntos de suelo.

(Fuente: Creación propia)

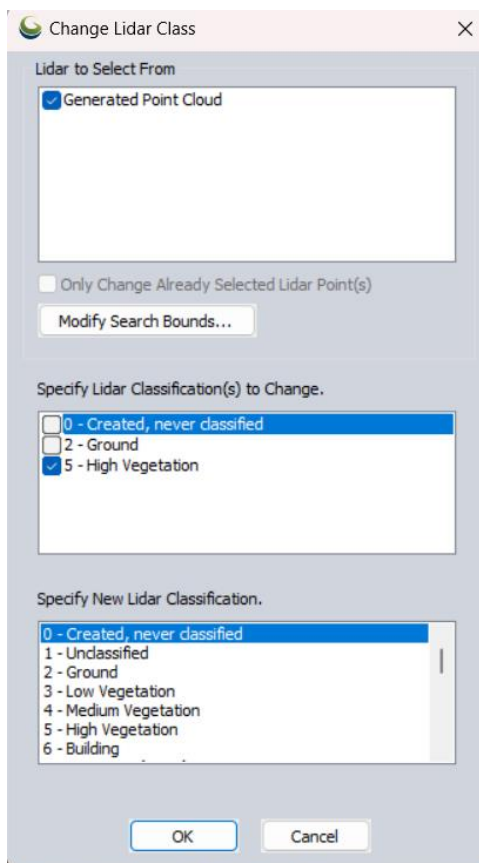



Figura 256. Cambio de clasificación de puntos.

(Fuente: Creación propia)

Dentro de global Mapper podemos realizar diferentes perfiles para ver las diferentes clases ingresando a la opción “Path Profile”  habilita una opción para dibujar la línea base sobre la cual se desean obtener los perfiles, para dibujarla se da clic izquierdo en el punto inicial y para finalizar se da clic derecho, de manera automática se habilita una ventana nueva con el perfil de la línea seleccionada donde muestra las diferentes clasificaciones del terreno, en este caso únicamente muestra el suelo y las áreas no clasificadas como son la vegetación, ver figura 257, en esta ventana podemos seleccionar el terreno no clasificado y clasificarlo con las opciones mostradas, así como también se puede filtrar la vista para observar el perfil únicamente de las clases que deseamos ver.

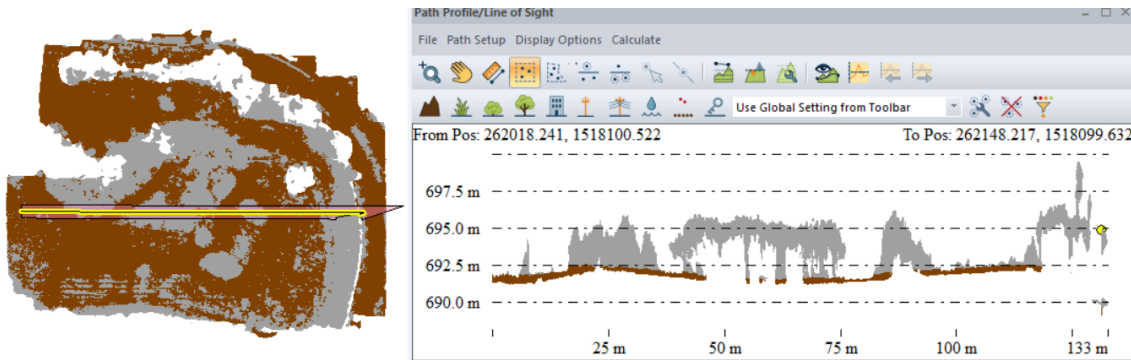



Figura 257. Perfil de nube de puntos clasificada.

(Fuente: Creación propia)

#### 4.3.7 Creación de MDE y MDT

Finalizado el procesamiento de clasificación de nube de puntos, seleccionamos la opción “Create Elevation Grid” para crear el  Modelo digital de elevación, brindará una ventana inicial para seleccionar la capa de referencia para crear el modelo, en este caso seleccionamos “Generated Point Cloud” para

que tome de referencia la nube de puntos densa, ver figura 258, seleccionando esta opción brinda una nueva ventana donde se debe configurar las especificaciones para el MDE, en este caso en Layer colocamos el nombre "MDE", en "Distance Criteria" se deja un valor de 50 y los demás datos los mostrados por defecto, ver figura 259, se selecciona Ok y finalizando el procesamiento aparece en el espacio de trabajo una nueva opción llamada "MDE" y en la vista principal podemos observar el Modelo digital de elevación generado el cual muestra un dato bastante acertado de las elevaciones del terreno, ver figura 260.

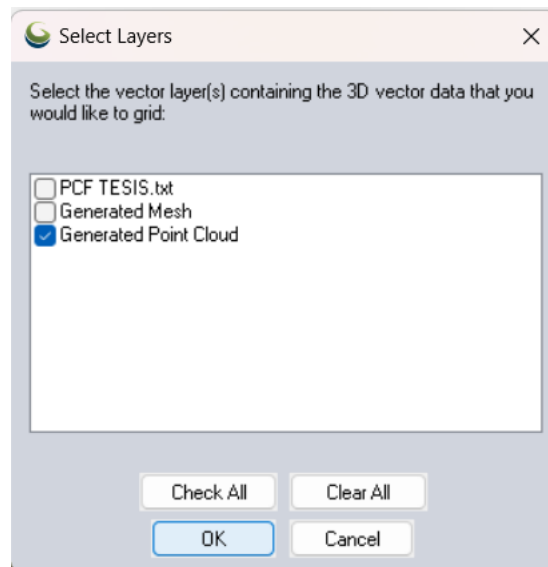


Figura 258. Selección de capa de referencia para MDE

(Fuente: Creación propia)

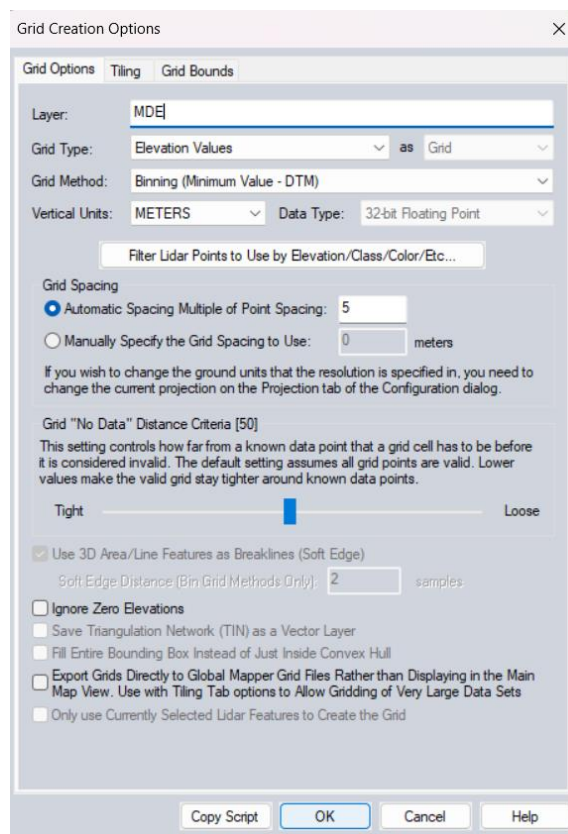


Figura 259. Opciones para creación de MDE.

(Fuente: Creación propia)

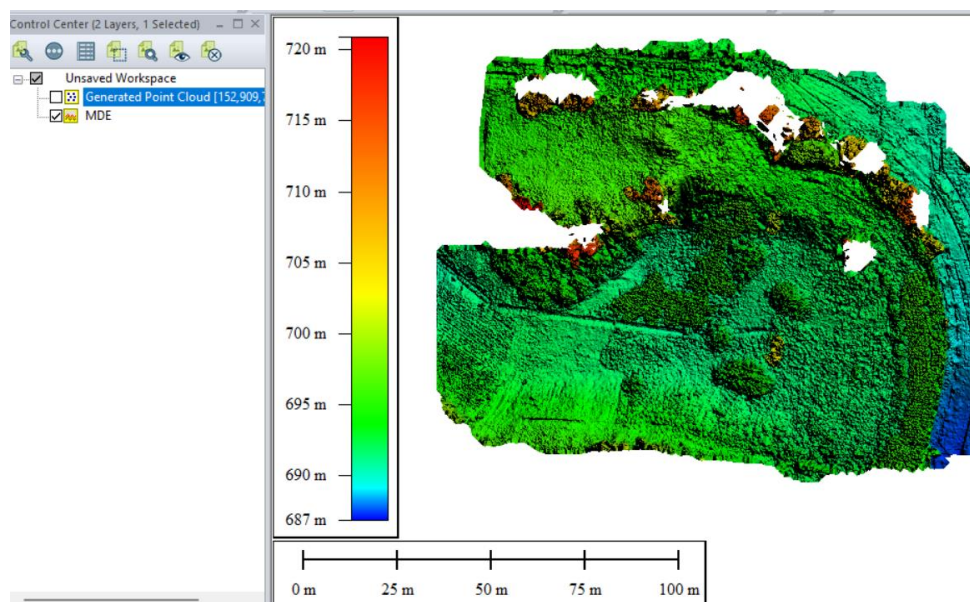


Figura 260. Modelo digital de Elevación.

(Fuente: Creación propia)

Para la creación del MDT, seguimos los mismos pasos anteriores con la diferencia que en la opción para el procesamiento damos clic en la opción “Filter Lidar Points to use by Elevation/Class/Color...” se habilita una nueva ventana donde únicamente debemos dejar seleccionada la opción “Ground”, ver figura 261.

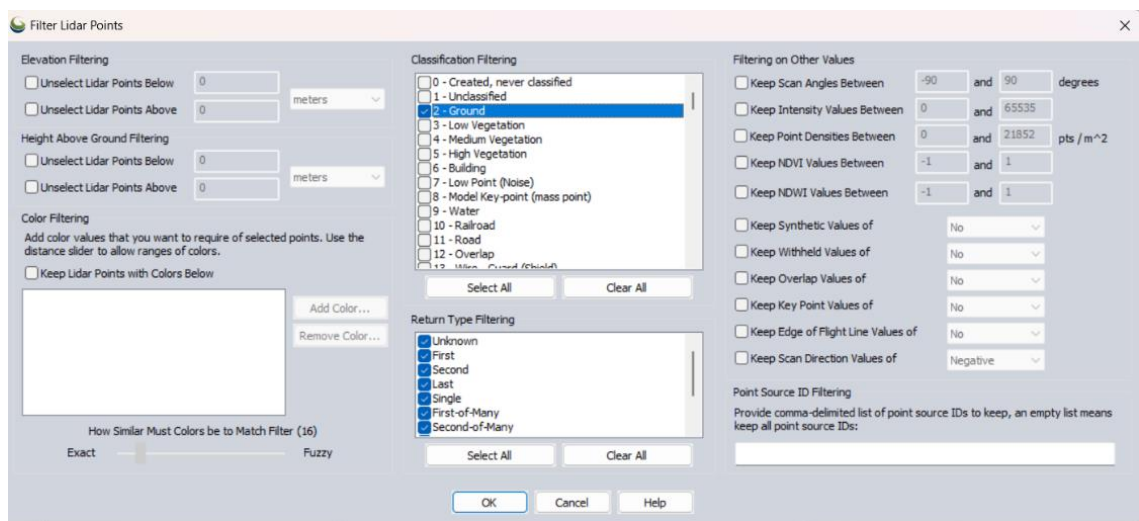


Figura 261. Filtrar por clasificación de suelo.

(Fuente: Creación propia)

seleccionamos Ok y en la ventana anterior en Layer colocamos como nombre MDT, con las opciones indicadas en figura 262, damos clic en OK y en el espacio de trabajo se visualiza una nueva capa llamada MDT, al seleccionarla en la pantalla principal se muestra el Modelo digital de terreno, ver figura 263.

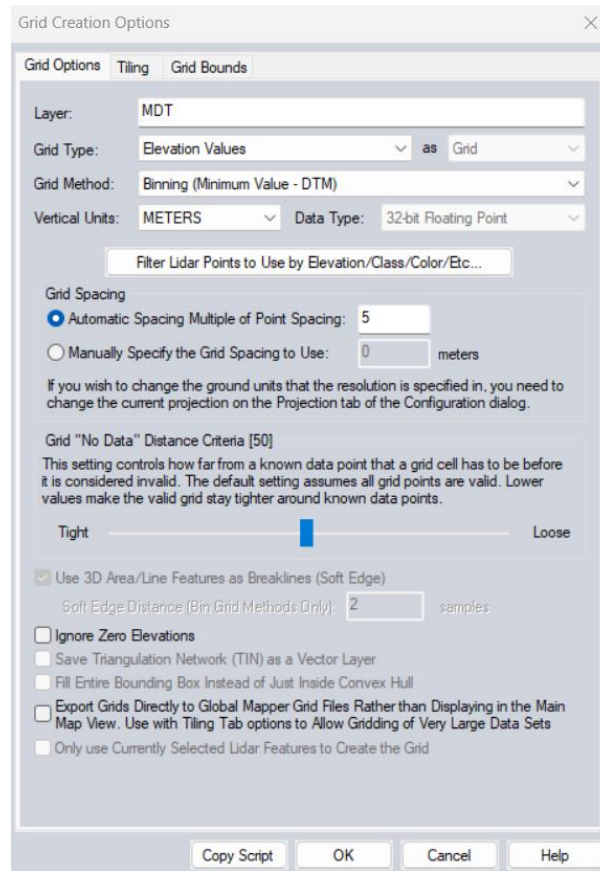


Figura 262. Opciones para creación de MDT.

(Fuente: Creación propia)

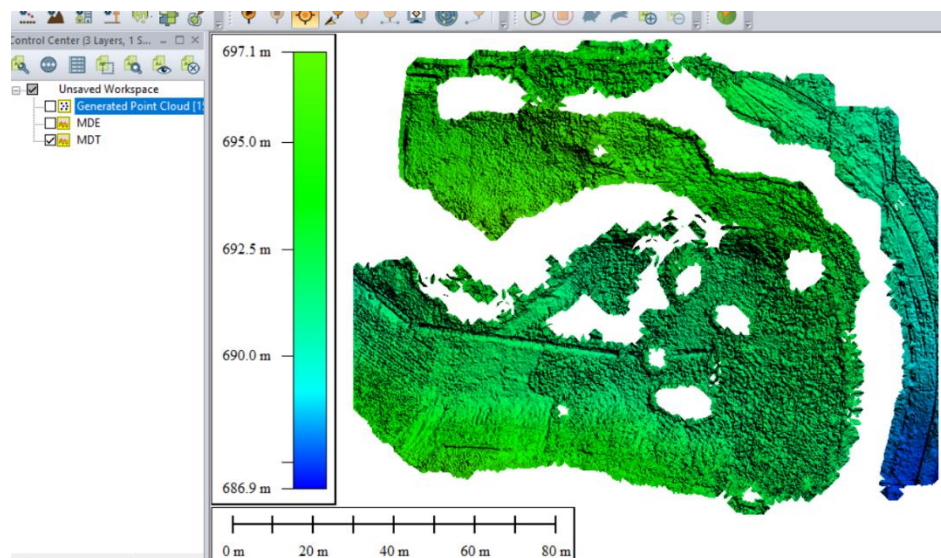


Figura 263. MDT – Global Mapper.

(Fuente: Creación propia)

### 4.3.8 Generación de Curvas de nivel


Creado el MDT, podemos generar las curvas de nivel ingresando a la opción “Create Contours”  se habilita una nueva ventana para seleccionar el intervalo entre cada curva, las curvas mayores, las curvas menores y también los parámetros de elevación, se seleccionan los parámetros mostrados en figura 264, seleccionamos ok y finalizado el procesamiento en la pantalla principal se mostrarán sobre la nube de puntos las curvas de nivel especificadas, ver figura 265.

Figura 264. Configuración para creación de curvas de nivel.

(Fuente: Creación propia)

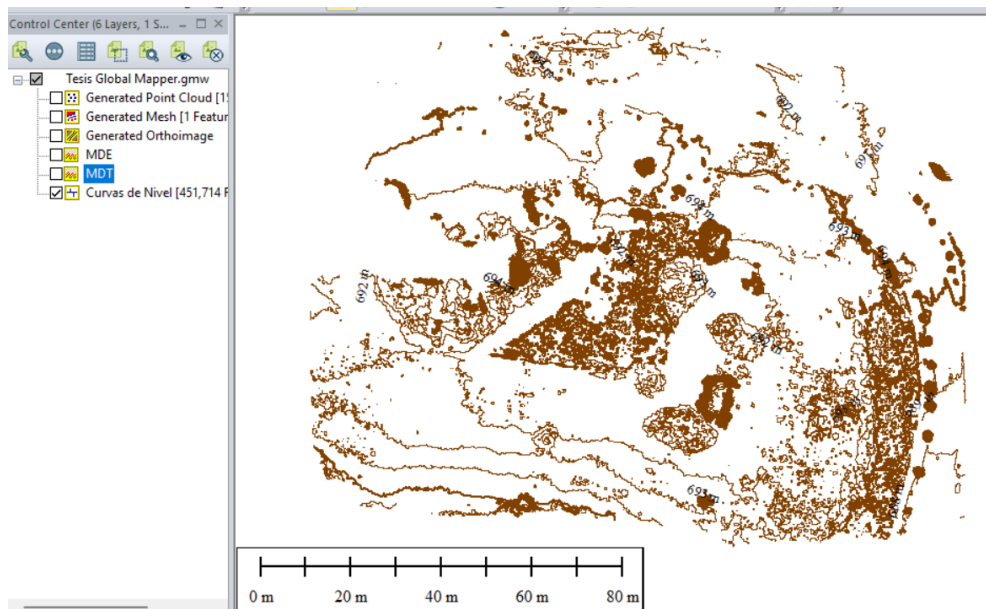


Figura 265. Curvas de nivel.

(Fuente: Creación propia)

Al finalizar podemos guardar el espacio de trabajo con todos los productos creados ingresando a File, luego en Save Workspace As... y se habilita la ventana para seleccionar la ubicación donde deseamos almacenar el espacio de trabajo finalizado, ver figura 266.

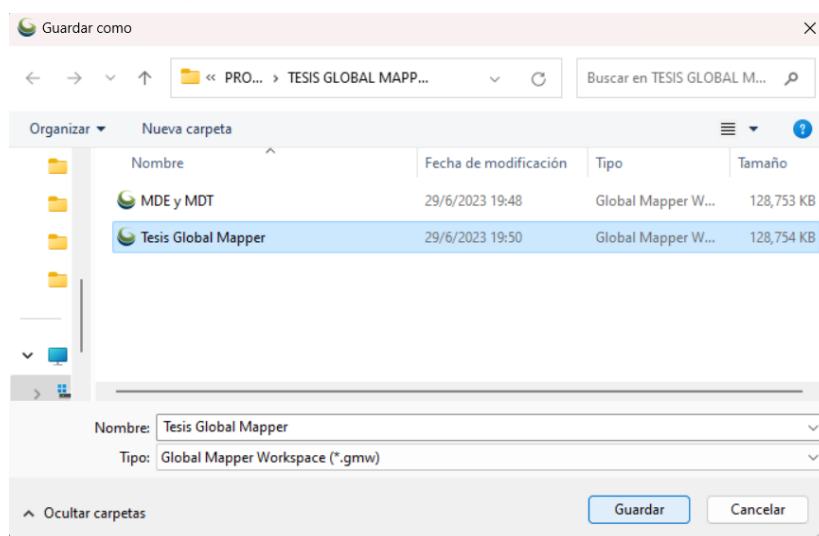


Figura 266. Almacenamiento de espacio de trabajo.

(Fuente: Creación propia)

## **CAPÍTULO V: ANÁLISIS DE RESULTADOS**

### **5.1 Ventajas sobre los softwares de procesamientos utilizados**

El Flujo de trabajo es similar en los 3 programas, realizando un procedimiento en general como el siguiente

1. Ingreso de las imágenes y los puntos de control fotogramétrico.
2. Calibración de las imágenes para ajustar el color, contraste y otras características que permitan mejorar el procesamiento
3. Orientación y generación de la nube de puntos densa.
4. Proceso opcional reconstrucción 3D de malla y textura.
5. Clasificación de la nube de puntos densa para mejorar la calidad del modelo digital de terreno.
6. Generación del MDT a partir de la clasificación de la nube de puntos.
7. Generación de ortofoto en la cual podemos medir objetos o extraer elementos del área levantada.
8. Generación de curvas de nivel (Si es requerido).

#### **5.1.1 Ventajas de Agisoft Metashape**

- ✓ La calidad de la ortofoto final.
- ✓ Tiene muy buen algoritmo de correlación de píxeles.
- ✓ Se puede generar una clasificación de la nube de puntos de manera personalizada (colores y alturas) que permiten mejorar la calidad de modelo digital de elevaciones.

- ✓ Importar un modelo digital de terreno (previamente editado en un software externo como por ejemplo PCI Geomatics, ENVI, entre otros)
- ✓ Importación de nube de puntos.

Se recomienda este software para generar un modelo digital más realista de terreno, debido a la personalización que permite realizar al momento de clasificar la nube de puntos.

### **5.1.2 Ventajas de Pix4D Mapper**

- ✓ La calidad de la ortofoto final.
- ✓ Tiene muy buen algoritmo de correlación de píxeles.
- ✓ Buenos métodos de cálculo de volumen.
- ✓ Consistencia al atar bloques fotogramétricos.

Se recomienda este software para generar una ortofoto de calidad, ya que está a comparación de los otros softwares presenta menos ruido.

### **5.1.3 Ventajas de Global Mapper**

- ✓ Buena calidad en mallas 3D.
- ✓ Visualización de perfiles de elevación
- ✓ Se trabaja en un ambiente GIS, por lo tanto, es posible realizar edición de data.
- ✓ Importar nube de puntos, MDE, Curvas de nivel y ortofotos.

Se recomienda este software para la generación de perfiles de elevación en nube de puntos y MDE.

## 5.2 Comparación de los MDT obtenidos por los diferentes levantamientos y procesamientos

Para el caso de los MDT obtenidos de los levantamientos realizados con Estación Total y con GPS, al realizar el procesamiento estos modelos resultan muy similares siendo difícil poder distinguir diferencias a simple vista, ver figuras 267 y 268. Dado que la diferencias en los datos son centimétricas no podemos decir cual equipo es mejor en cuanto a las precisiones de los datos para elaborar el MDT, sin embargo, el uso del GPS es mucho más versátil que la estación total, a la hora de realizar el levantamiento.

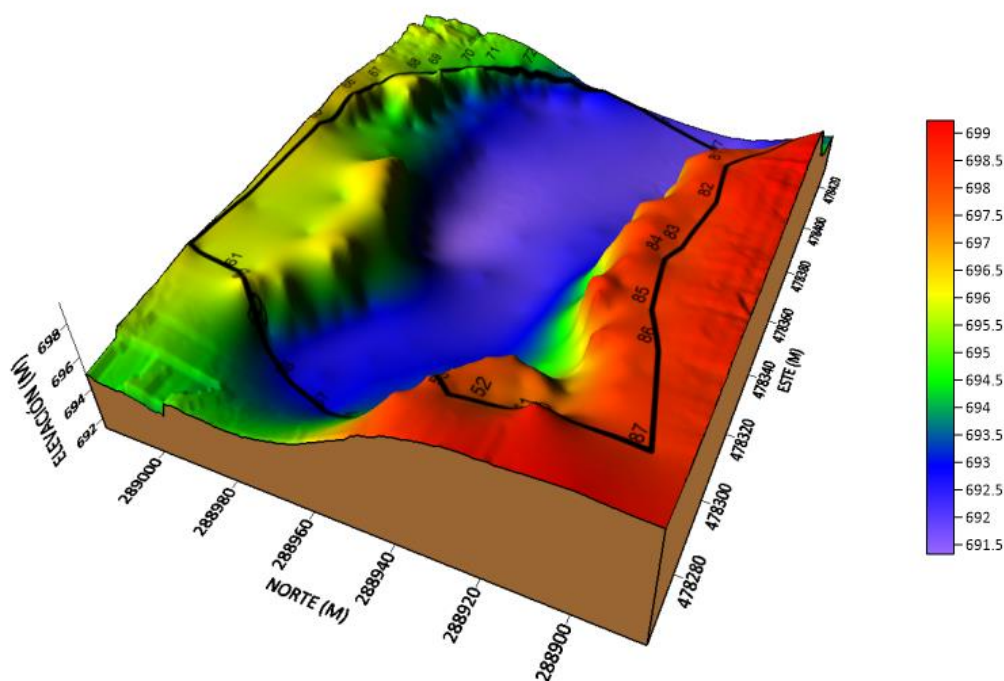


Figura 267. Modelo digital de terreno obtenido con datos de estación total.

(Fuente: Tesis "Análisis comparativo de modelos digitales de terreno obtenidos con técnicas satelitales GNSS y estación total", noviembre 2021)

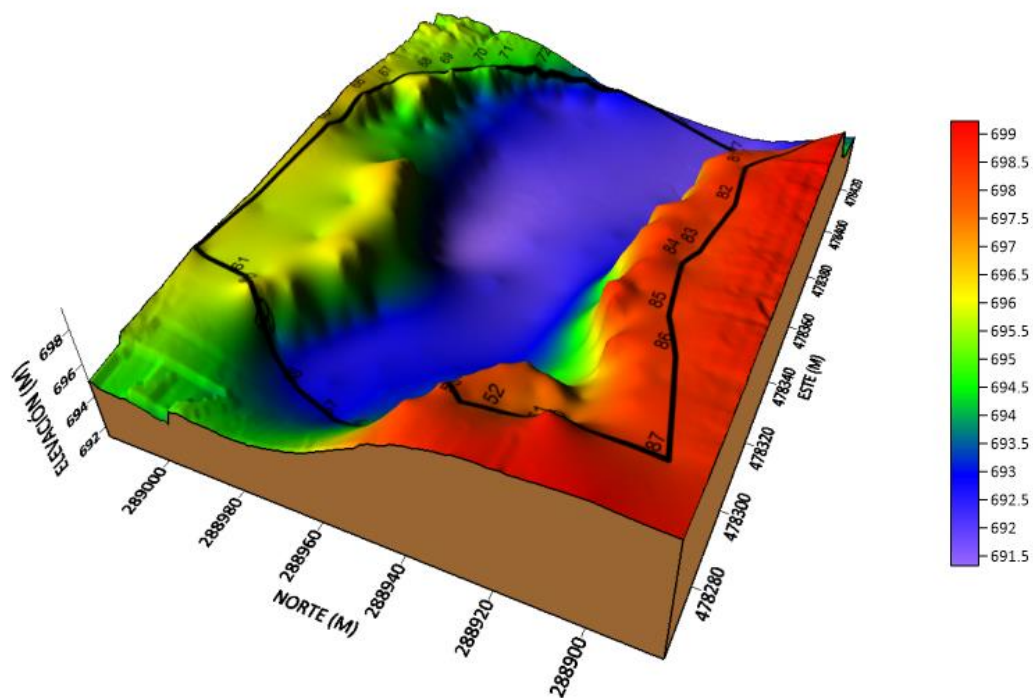


Figura 268. Modelo digital de terreno obtenido con datos GPS.

(Fuente: Tesis "Análisis comparativo de modelos digitales de terreno obtenidos con técnicas satelitales GNSS y estación total", noviembre 2021)

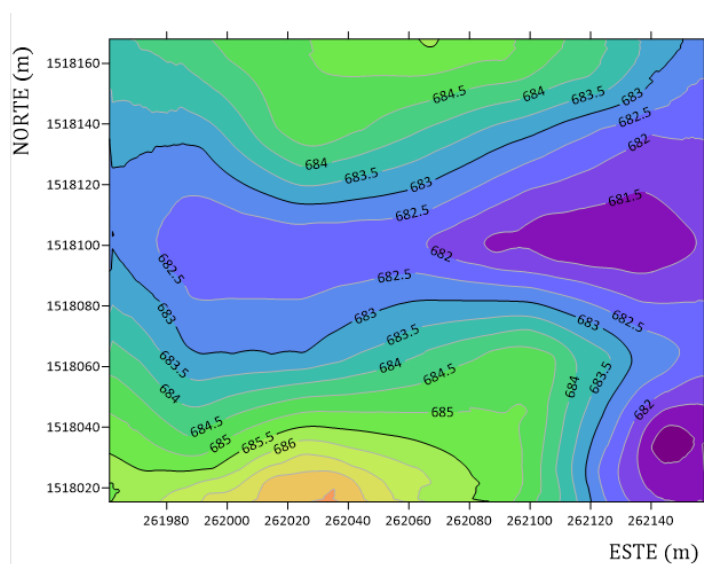


Figura 269. Curvas de nivel.

(Fuente: Tesis "Análisis comparativo de modelos digitales de terreno obtenidos con técnicas satelitales GNSS y estación total", noviembre 2021)

Para realizar una comparación más exacta de los MDT obtenidos por los procesamientos realizados en los diferentes softwares del levantamiento fotogramétrico con drone, se optó por abrir los archivos TIFF en el software de Global Mapper y así poder realizar una comparativa más detallada de cada uno de ellos, ver figuras 270, 271 y 272.

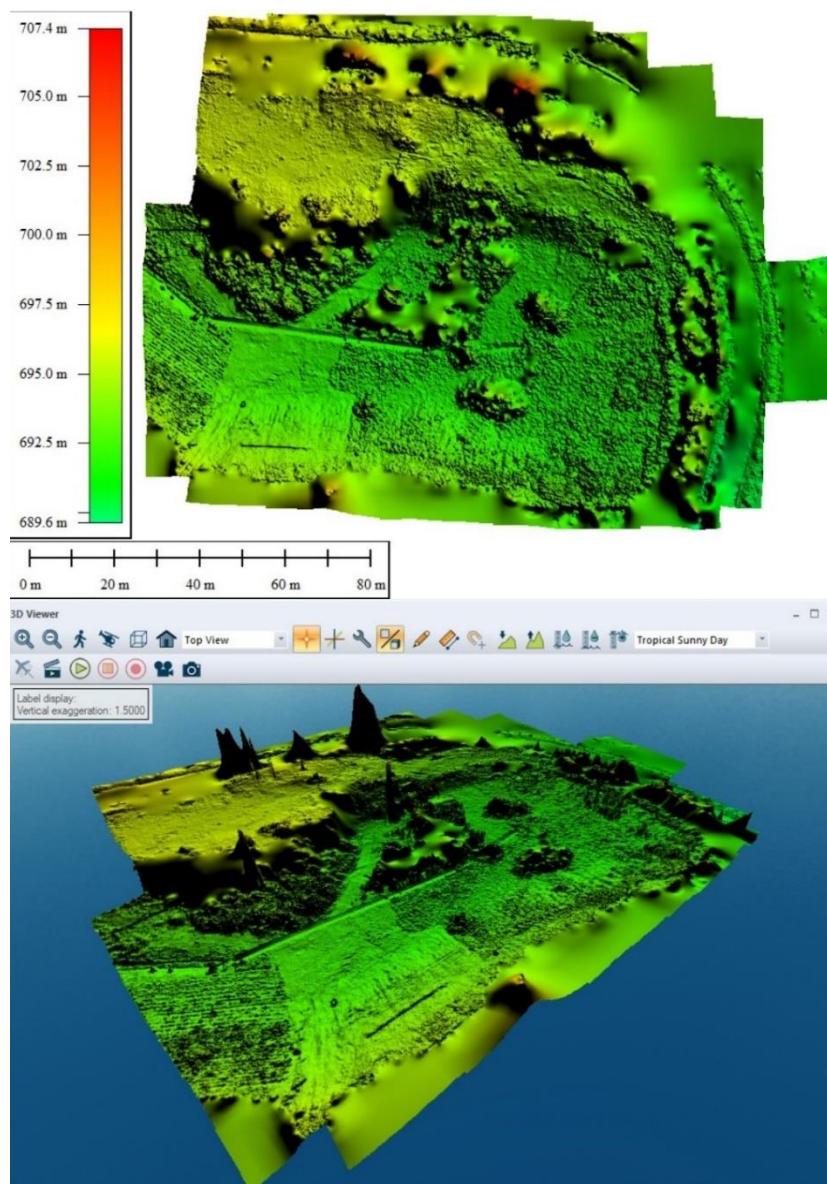


Figura 270. MDT Agisoft Metashape – Vista 3D Global Mapper

(Fuente: Creación propia)

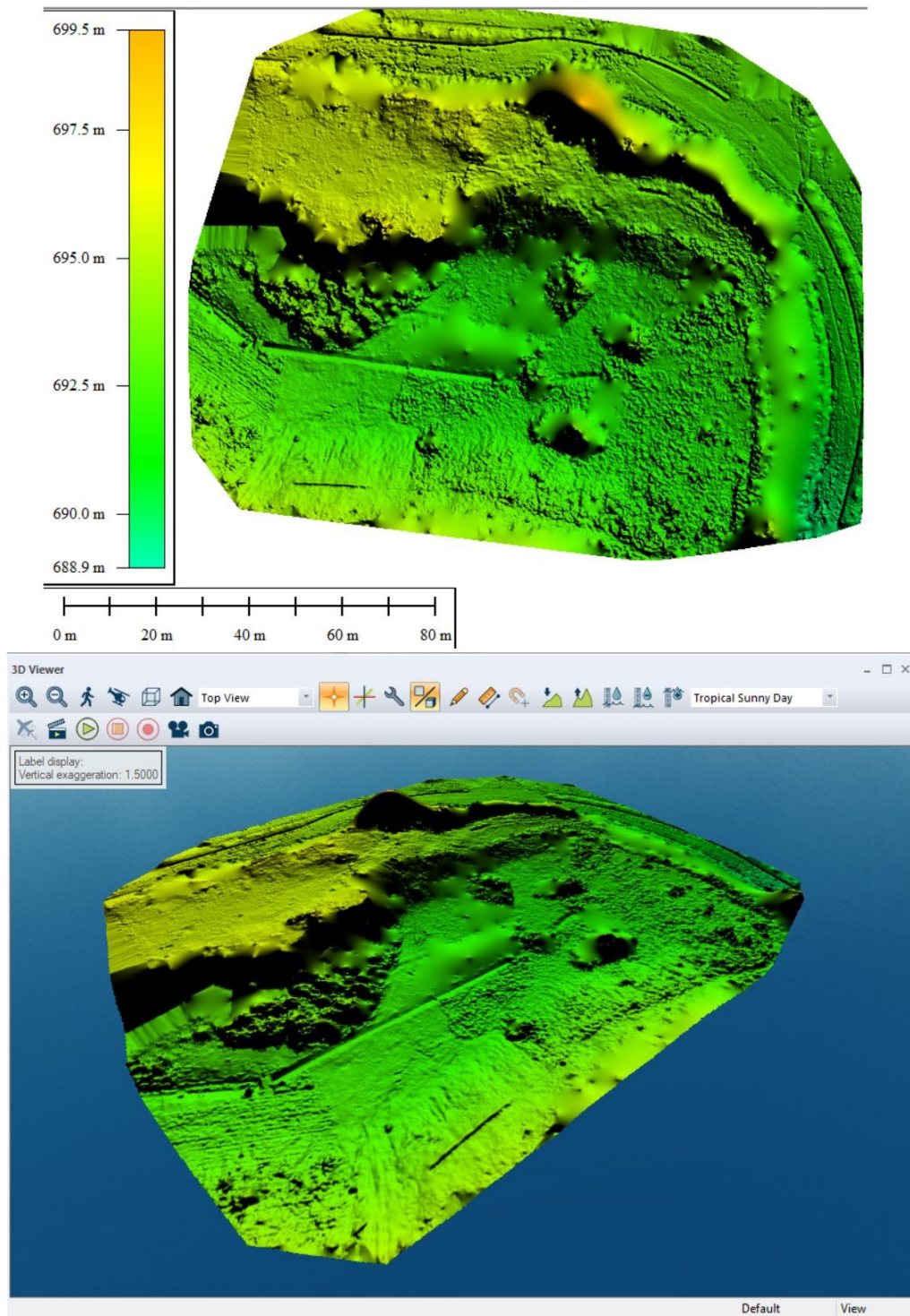


Figura 271. MDT Pix4D Mapper – Vista 3D Global Mapper

(Fuente: Creación propia)

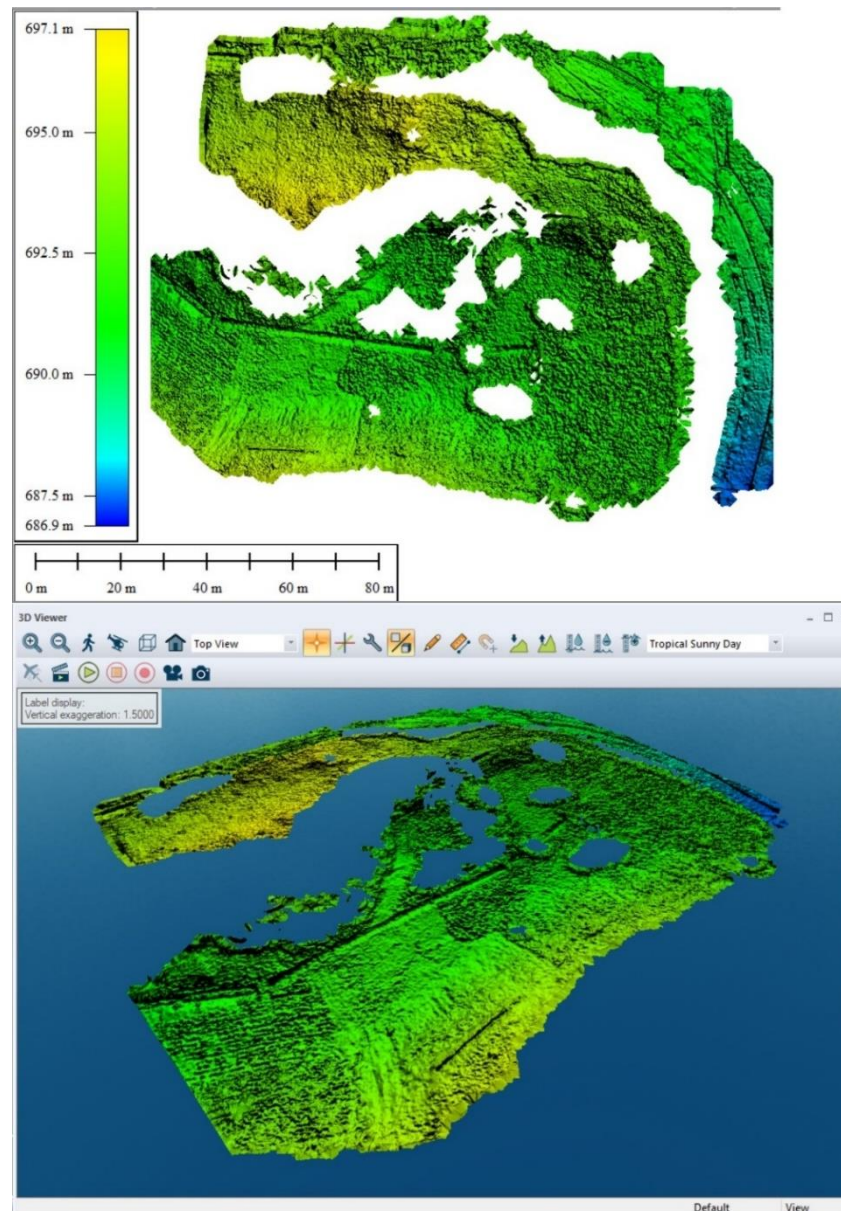


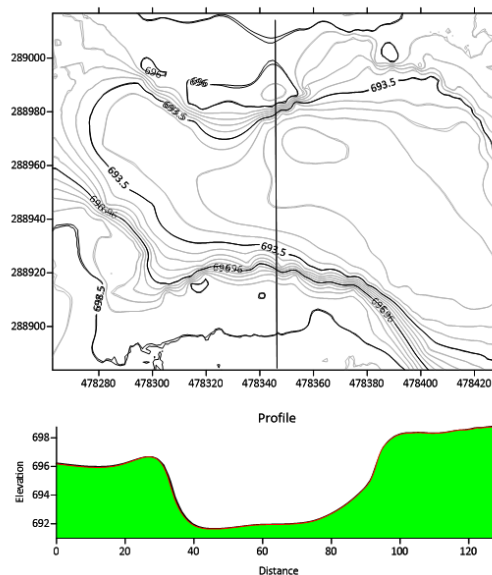
Figura 272. MDT Global Mapper – Vista 3D Global Mapper

(Fuente: Creación propia)

Al observarlos podemos notar que el MDT obtenido con Agisoft y Pix4D son bastantes similares y para el caso del MDT obtenido con el procesamiento en Global Mapper carece de varios detalles observando huecos en las zonas con vegetación alta, sin embargo, de los 3 se puede observar que el que tiene un

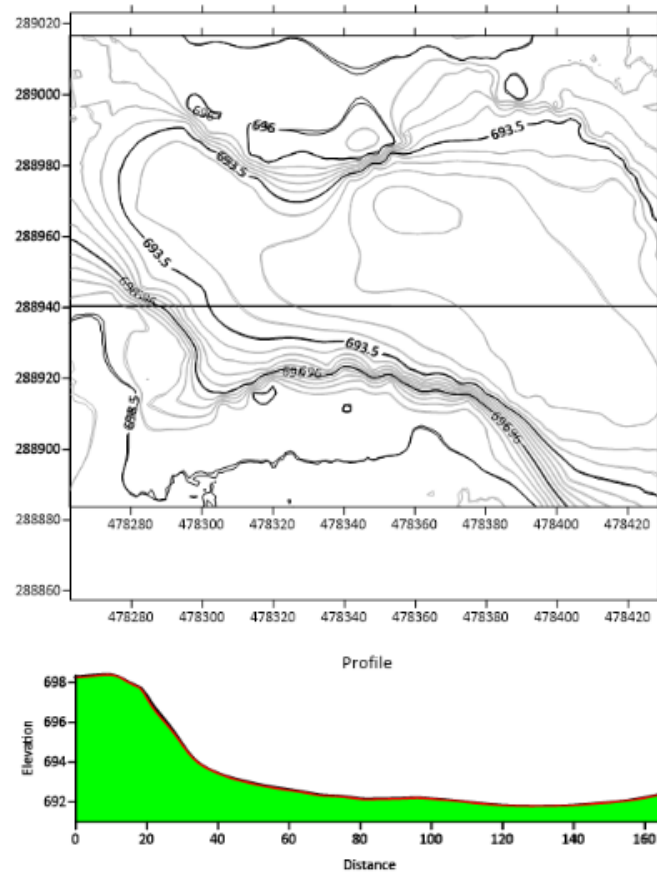
detalle más exacto del terreno es el obtenido con el programa de Pix4D Mapper, el cual tiene mejor marcadas las zonas de terreno y es más preciso en comparación al terreno real, al compararlos con los MDT de los levantamiento con estación total y GPS se nota a simple vista la diferencia de precisión que poseen aunque es de tener en cuenta que el levantamiento con Estación total y GPS toma puntos que en el levantamiento con drone no consideramos que son la parte superior del talud que se encuentra al lado sur del terreno.

Otra comparativa a realizar es la comparativa de perfiles topográficos obtenidos a partir del MDT, para GPS y Estación Total, como se ve a continuación las diferencias entre los perfiles son inapreciables visualmente dado que las diferencias entre los datos fueron centimétricas., ver figuras 273 y 274.



*Figura 273. Superposición de perfil topográfico longitudinal obtenido de datos GPS y de Estación Total*

*(Fuente: Tesis “Análisis comparativo de modelos digitales de terreno obtenidos con técnicas satelitales GNSS y estación total”, noviembre 2021)*



*Figura 274. Superposición de perfil topográfico Transversal obtenido de datos GPS y de Estación Total*

*(Fuente: Tesis “Análisis comparativo de modelos digitales de terreno obtenidos con técnicas satelitales GNSS y estación total”, noviembre 2021)*

Y para el caso del levantamiento fotogramétrico con drone estos son los perfiles longitudinales obtenidos de los diferentes procesamientos, ver figuras 275, 276 y 277, también se muestra la superposición de los 3 perfiles, ver figura 278.

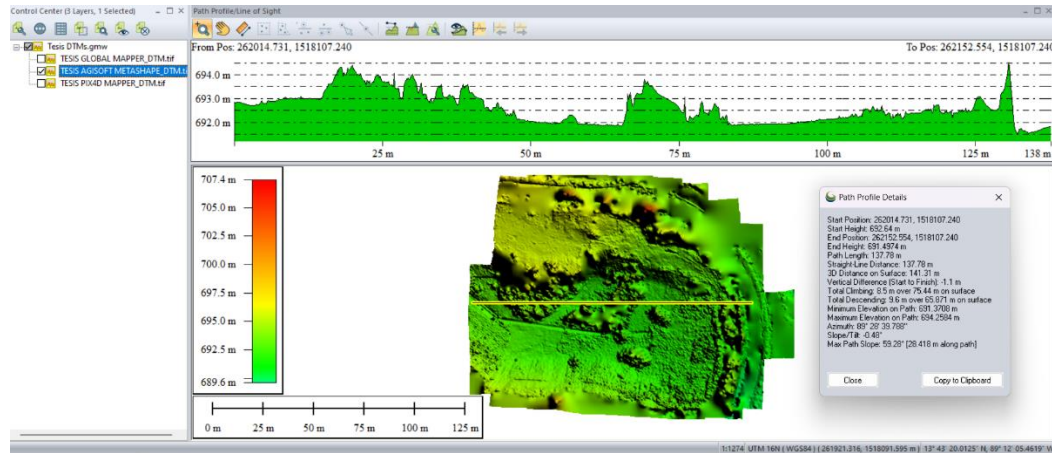


Figura 275. Perfil Longitudinal – Procesamiento Agisoft Metashape  
(Fuente: Creación propia)

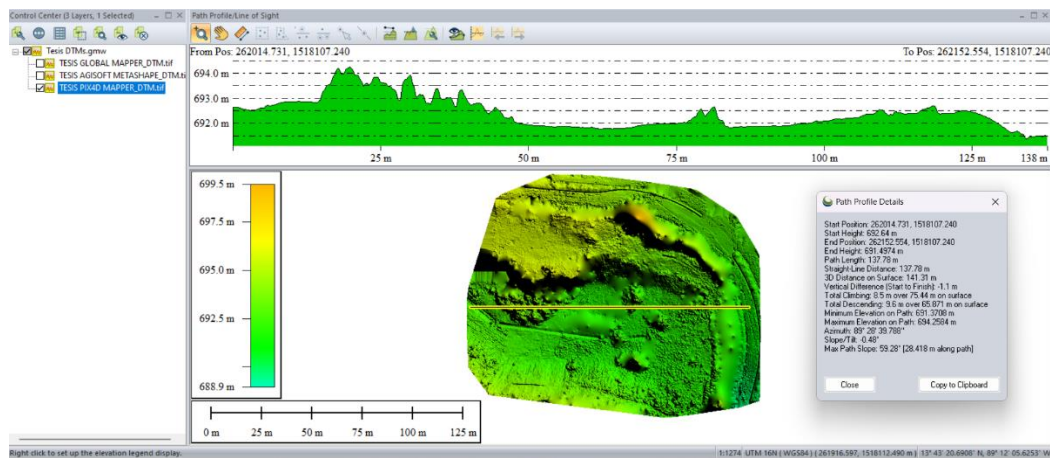


Figura 276. Perfil Longitudinal – Procesamiento Pix4D Mapper  
(Fuente: Creación propia)

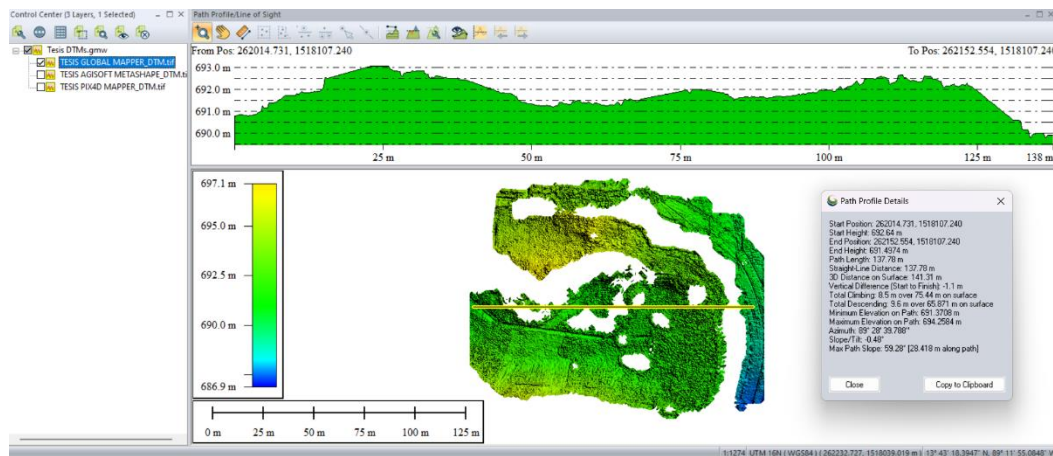


Figura 277. Perfil Longitudinal – Procesamiento Global Mapper  
(Fuente: Creación propia)

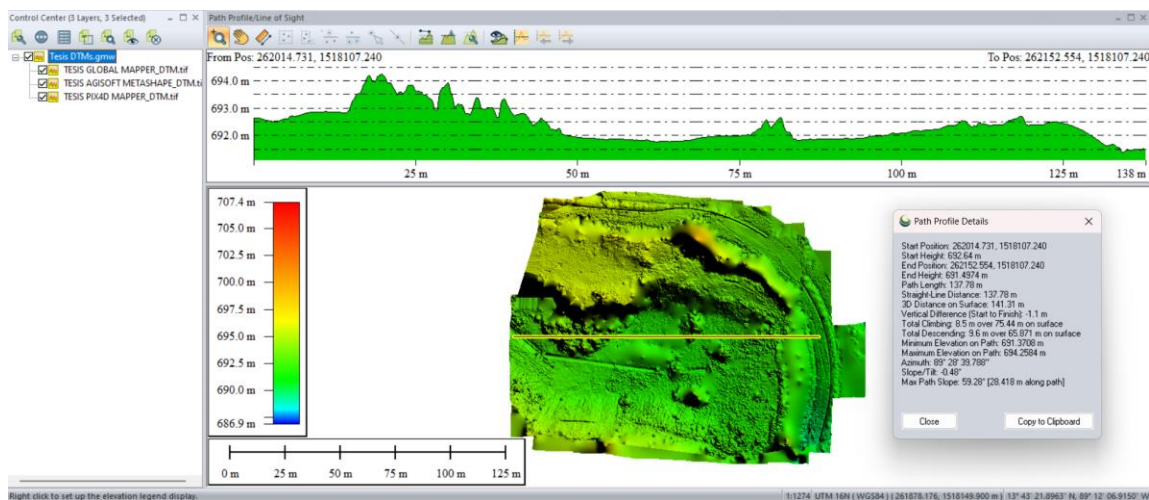


Figura 278. Superposición de perfiles topográficos longitudinales obtenido de levantamiento con drone

(Fuente: Creación propia)

Y los perfiles transversales obtenidos del procesamiento del levantamiento fotogramétrico se muestran en las figuras 280, 281 y 282, así como la superposición de los 3 perfiles se puede observar en la figura 279.

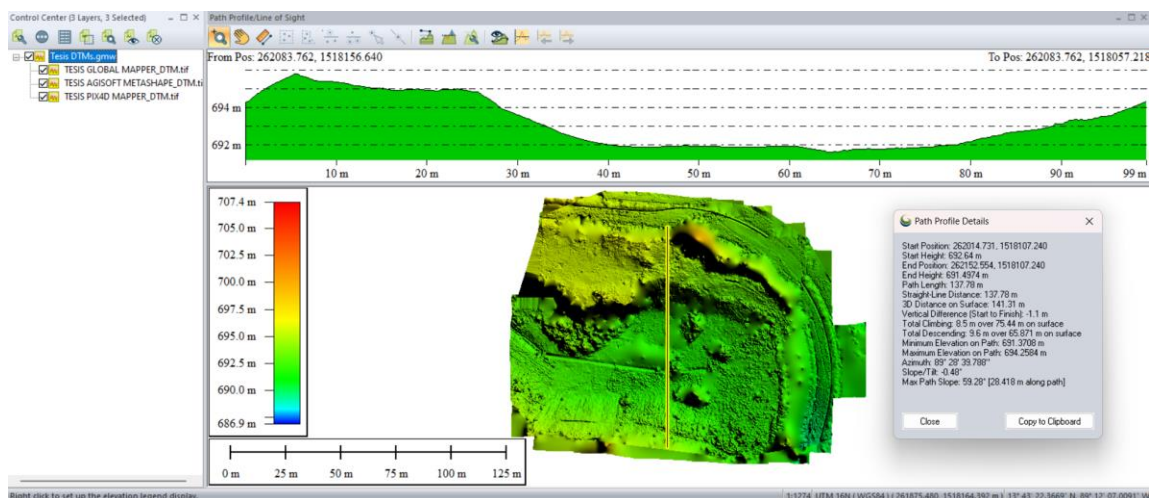


Figura 279. Superposición de perfiles topográficos transversales obtenido de levantamiento con drone

(Fuente: Creación propia)

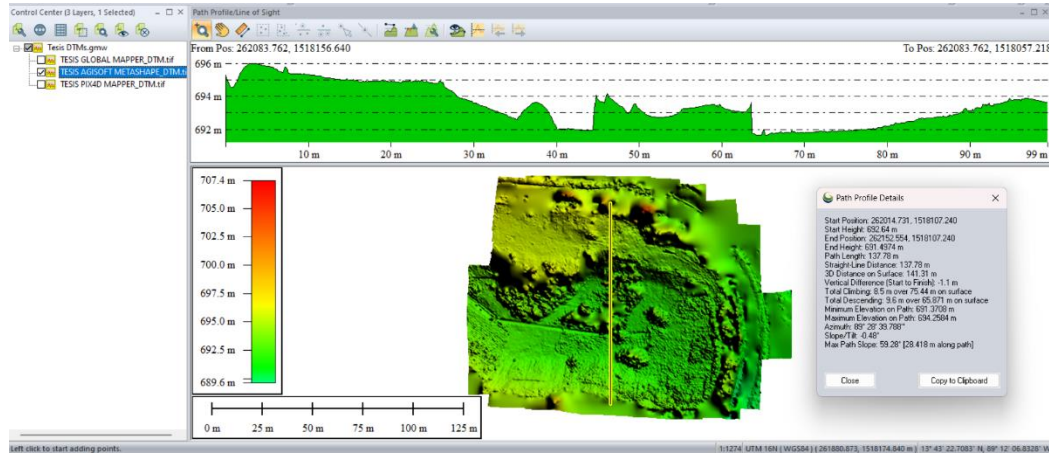


Figura 280. Perfil Transversal – Procesamiento Agisoft Metashape

(Fuente: Creación propia)

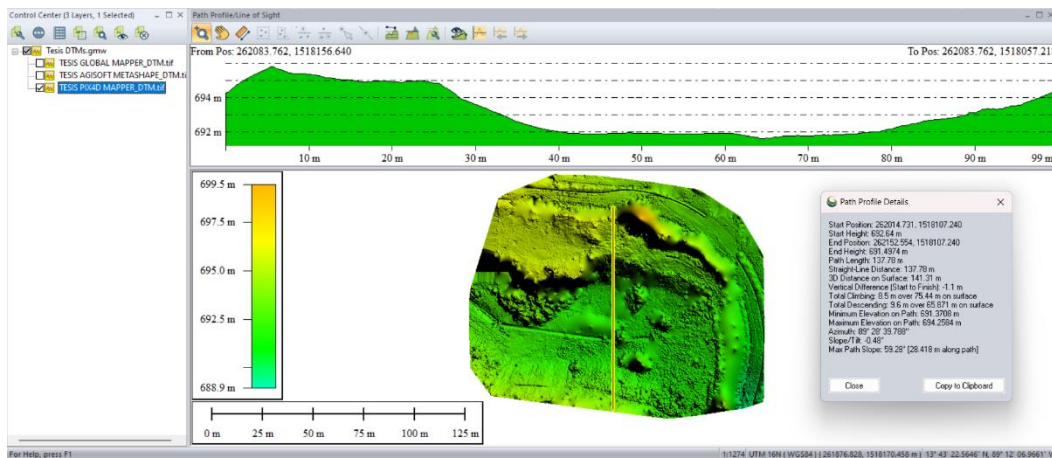


Figura 281. Perfil Transversal – Procesamiento Pix4D Mapper

(Fuente: Creación propia)

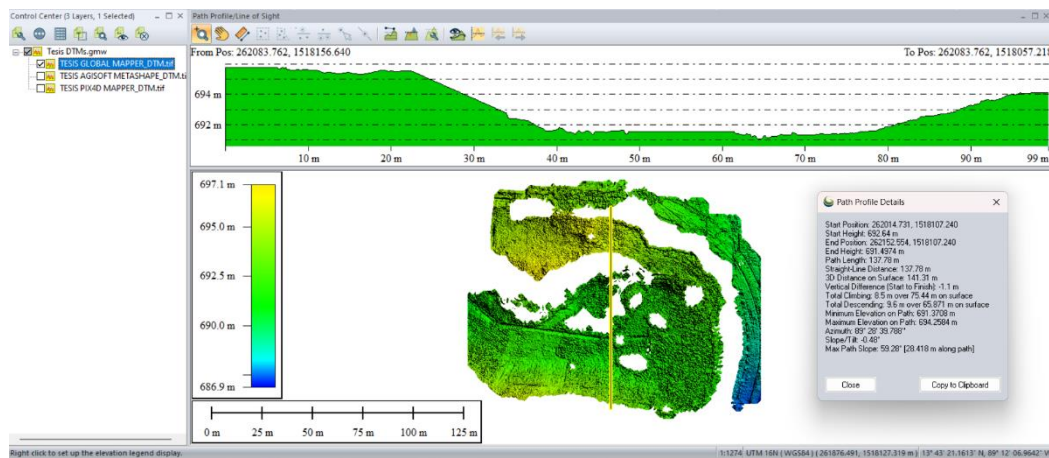


Figura 282. Perfil Transversal – Procesamiento Global Mapper

(Fuente: Creación propia)

## **CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **6.1 Conclusiones**

1. La recolección de datos por medio de levantamiento topográfico con dron es hasta cinco veces más rápida que con los métodos terrestres de Estación Total y la técnica GNSS/RTK con GPS, adicional requiere menos mano de obra y con la georreferenciación con la técnica GNSS/RTK con GPS también se ahorra tiempo debido que no es necesario colocar numerosos puntos de apoyo fotogramétrico y se obtiene un resultado de un levantamiento topográfico más rápido.
2. El método con Estación Total y la técnica GNSS/RTK con GPS solo miden puntos individuales, en cambio un vuelo con dron recolecta miles de mediciones que pueden representarte en diferentes formatos como son Ortomosaico, nube de puntos, MDT, MDS, Curvas de nivel, Perfiles de elevación, entre otros, esto debido que cada pixel del mapa generado contiene datos geográficos.
3. Los datos obtenidos con el levantamiento fotogramétrico con dron, nos brinda mayor detalle ya que al finalizar el procesamiento de las fotografías podemos obtener la ortofoto que es una imagen detallada del terreno

levantado, detalle que con los levantamientos topográficos con Estación Total y la técnica GNSS/RTK con GPS no se puede obtener.

4. El procedimiento para realizar un levantamiento fotogramétrico con dron es más sencillo al compararlo con los levantamientos topográficos con Estación Total y la técnica GNSS/RTK con GPS, sin embargo, el equipo utilizado para el levantamiento fotogramétrico es de un costo más elevado que los equipos utilizados con los otros métodos, ya que se necesita contar con el equipo utilizado para un método tradicional ya sea Estación Total o GPS y adicional el dron.
5. Los datos de los errores de los puntos de control del terreno obtenidos en el procesamiento con los Softwares Pix4D Mapper y Agisoft Metashape varían en el rango de 0.1 a 2.9 cm, datos mas precisos que los datos obtenidos con Estación Total y GPS presentan desviaciones que varían en el rango de 0.1mm hasta 9.9cm.
6. Los levantamientos fotogramétricos de terreno, no excluyen a los métodos tradicionales utilizados como es la Estación Total o la técnica GNSS/RTK con GPS, por su mayor facilidad en campo para la obtención de datos necesarios en la realización de los MDT, sino más bien son técnicas auto complementarias, principalmente porque para una georreferenciación se

requerirá el uso de las técnicas tradicionales así como también en caso de condiciones climáticas desfavorables para un vuelo hacen que la técnica con el uso del dron se vuelva difícil de emplear, por ello se vuelve necesario la complementación de los trabajos en campo con el uso de la Estación total o GPS, sin embargo un dron de cartografía aérea puede despegar y volar casi a cualquier lugar, por lo que ya no estaríamos limitados por áreas inaccesibles, por ejemplo pendientes empinadas e inseguras o un terreno accidentado inadecuado para las herramientas de medición tradicionales, adicional que para este tipo de levantamientos no se necesita cerrar carreteras o calles e incluso se puede realizar la captura de datos durante un trabajo de construcción e incluso llevar un seguimiento más fácil del trabajo.

7. Para obtener una precisión alta del mapeo de levantamientos topográficos con drones influyen el tipo de dron, el rendimiento del mismo, la calidad de sus componentes, la configuración de vuelo (altura de vuelo, traslape, ángulo de la cámara), la vegetación del terreno así como la metodología utilizada para la geolocalización de las imágenes, por lo que al utilizar un dron de alta gama y en condiciones óptimas es posible alcanzar una precisión absoluta hasta de 1 cm/px de GSD y de 0,7 cm/px.
8. Los MDT obtenidos con el levantamiento fotogramétrico con dron son más precisos que los levantamientos realizados con Estación Total y la técnica

GNSS/RTK con GPS, esto debido que los MDT de los métodos tradicionales dependen de la cantidad de puntos individuales que se capturen, en cambio en un solo vuelo con dron se obtienen miles de puntos en este caso pixeles que contiene datos geográficos que ayudan a generar un modelo digital de terreno más preciso.

9. El procesamiento de datos con el programa Pix4D Mapper se considera el más automático y preciso para la generación de MDT y MDS, por lo que el resultado con este procesamiento se asemeja más al terreno real que el obtenido con los programas de Global Mapper y Agisoft Metashape, en cambio este último se considera a nivel general que puede generar un mejor modelo digital de terreno al realizar una clasificación de puntos manual más precisa ya que posee más opciones de clasificación.
  
10. La Ortofoto/Ortomosaico generado por los programas de Pix4D Mapper y Agisoft Metashape son más precisos que el generado con Global Mapper ya que presentan menos ruidos y visibilidad de todo el terreno, esto es entendible ya que los dos programas iniciales son específicamente utilizados para procesamientos fotogramétricos y Global Mapper es una aplicación de sistema de información geográfica que es mayormente utilizada para mostrar, convertir y analizar prácticamente cualquier tipo de datos geoespaciales.

## 6.2 Recomendaciones

1. Cuando se planifique realizar un levantamiento topográfico con drone, se recomienda verificar con antelación el pronóstico de las condiciones climáticas de la zona donde se realizará el levantamiento, para evitar que a mitad del vuelo pueda ocurrir una tormenta, neblina o alguna condición climática que interfiera con la visibilidad de las fotografías.
2. Al momento de realizar la planificación del vuelo se recomiendan configurar traslapes 70% a 80% un traslape intermedio (al centro de la línea), esto para lograr conseguir un mayor número de puntos de paso al momento de realizar el procesamiento de las fotografías y así obtener una ortofoto más precisa.
3. Se recomienda antes de realizar un vuelo para un levantamiento fotogramétrico de un terreno para el caso del drone andar una batería extra cargada al 100% en caso la misión de vuelo a realizar sea muy extensa así en caso de no finalizar el recorrido con un solo vuelo se puede reanudar colocando la batería adicional, también se recomienda que el control remoto y el smartphone se encuentren con un estado de carga al 100%.
4. Para las lonas utilizadas como referencia para los puntos de control fotogramétrico se recomiendan sean de un material no reflectante, dado que si es un material que refleja la luz, en algunas fotografías debido al ángulo de

captura y el reflejo del sol puede dificultar la visibilidad del punto de referencia e impedir que se pueda georreferenciar de manera precisa ese punto en esa fotografía.

5. Para el levantamiento de los puntos de control fotogramétrico si se realizan con la técnica GNSS/RTK con GPS se recomienda colocar los puntos en lugares despejados y con una topografía no tan accidentada, debido que los equipos GPS son muy sensibles por lo que en zonas con vegetación densa pueden dificultar o hasta impedir la lectura de datos.
  
6. Para hacer uso de este documento como guía práctica para realizar los levantamientos topográficos con las diferentes metodologías y equipos presentados, si bien en el presente trabajo se desarrolla el uso de los diferentes equipos paso a paso y de manera bastante ilustrativa es recomendable inicialmente estudiar el marco teórico conceptual de cada técnica para entender el principio en cual se fundamentan los trabajos en campo, así como también para el procesamiento de las fotografías para el caso del levantamiento topográfico con drone se debe estudiar el marco teórico conceptual para obtener productos finales con mejor precisión y calidad.

7. Para la utilización de los softwares presentados se recomienda contar con un computador que posea los requisitos de sistema mínimos indicados por cada uno de los programas para su debida instalación, así como contar con el espacio disponible de almacenamiento en el disco duro para realizar el procesamiento de las fotografías ya que al momento de realizar el procesamiento el programa utiliza parte del espacio disponible para ir almacenando los productos finales y al no contar con lo indicado se puede generar error en el procesamiento.
  
8. Los softwares utilizados para esta investigación son buenos en general sin embargo para el caso de Agisoft Metashape se recomienda se utilice si se desean modelos digitales de elevación y de terreno más precisos ya que permite realizar una categorización de puntos más amplia, así como se recomienda si se desea realizar exportaciones independientes y en diferentes formatos de los productos finales (Ortomosaico, MDT, MDS, Curvas de nivel, entre otros). Para el caso de Pix4D Mapper se recomienda utilizar para generar un Ortomosaico de mayor calidad con menos ruido y también para un procesamiento más automático y preciso. El software de Global Mapper se recomienda para obtener perfiles de elevación debido que permite realizar el dibujo de la línea donde se desea obtener el perfil de manera manual por lo que si se necesita visualizar diferentes tramos del terreno en perfil se puede realizar con este programa.

9. Por tiempo de procesamiento, manejo del programa y resultados obtenidos se recomienda utilizar el software de Agisoft Metashape a pesar que Pix4D Mapper presenta una interfaz bastante amigable y los tiempos de procesamiento en el mismo equipo son similares, se recomienda Agisoft por el detalle de la exportación de los productos finales sin embargo es de tener en consideración primero que los tiempos de procesamiento dependen de la capacidad de la computadora utilizada, así como de la cantidad de imágenes a procesar y que se debe generar una clasificación de puntos más detallada para obtener resultados más precisos de los MDT.
  
10. Para trabajos de investigación a realizar por la escuela de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador se recomienda seguir desarrollando investigaciones que analicen las técnicas modernas e innovadoras para la obtención de datos de campo tales como la metodología laser LIDAR e imágenes LANDSAT; ya que las diferencias en cuanto a precisión y tiempo de realización de los levantamientos son superiores con respecto a los equipos tradicionales directos de medición y se equiparan a estos en costos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### Tesis:

- Hilario Tacca Qquelca. (2015). Comparación de resultados obtenidos de un levantamiento topográfico utilizando la fotogrametría con drones al método tradicional.
- Claros, Guevara y Pacas. (2016). Aplicación de fotogrametría aérea en levantamientos topográficos mediante el uso de vehículos aéreos no tripulados.
- López, Ramírez y Rosa (2021). Análisis comparativo de modelos digitales de terreno obtenidos con técnicas satelitales GNSS y Estación total.

### Documentos:

- Curso “Fotogrametría con Drones: Planificación y procesamiento” (GEODEGIS).
- Agisoft Metashape User Manual Professional Edition, Version 2.0
- Pix4Dmapper - Guía de Inicio
- PDF: Generalidades de Topografía Equipos y Consumibles de Occidente  
[www.ecomexico.net](http://www.ecomexico.net)

### Páginas web.

- <http://itrizo.com/tienda/item/109-i-i-0500-002000-01.html>
- <https://www.ecomexico.net/proyectos/soporte/Varios/Generalidades%20de%20topografia.pdf>

# ANEXOS

## **Glosario técnico**

### **Términos y definiciones.**

**Topografía:** ciencia que estudia el conjunto de procedimientos para determinar las posiciones relativas de los puntos sobre la superficie de la tierra y debajo de la misma, mediante la combinación de las medidas según los tres elementos del espacio: distancia, elevación y dirección.

**Geodesia:** ciencia que trata de la determinación de las dimensiones exactas y de la forma de la Tierra y de la localización precisa de puntos sobre la superficie terrestre.

**Fotogrametría:** es la disciplina que utiliza las fotografías para la obtención de mapas de terrenos.

**Levantamientos fotogramétricos:** comprenden la obtención de datos y mediciones precisas a partir de fotografías del terreno tomadas con cámaras especiales u otros instrumentos sensores, ya sea desde aviones (fotogrametría aérea) o desde puntos elevados del terreno (fotogrametría terrestre) y que tiene aplicación en trabajos topográficos.

**Dron:** Un vehículo aéreo no tripulado, UAV, más apropiadamente RPAS, hace referencia a una aeronave que vuela sin tripulación, la cual ejerce su función remotamente

**Estación Total:** es un teodolito que cuenta con un distanciómetro integrado, capaz de medir ángulos y distancias de forma simultánea.

**Red geodésica nacional SIRGAS-ES2007:** Red Geodésica Básica Nacional

**GPS de alta precisión:** calcula de forma exacta las ubicaciones geográficas utilizando la información de los satélites de GPS

**Modelo Digital de Terreno:** Es una representación tridimensional de una superficie del terreno consistente en coordenadas X, Y, Z almacenadas en forma digital

**Modelos Digitales de Elevación:** Es una matriz de celdas de tierra desnuda referida a un dato vertical.

**Ortorectificación:** Se refiere al proceso de eliminación las distorsiones geométricas y de escalas inherentes en las fotografías e imágenes satelitales

producto de imperfecciones del sensor, variaciones topográficas y la curvatura de Tierra.

**Ortomosaico:** Es la imagen georreferenciada en la que la distorsión geométrica se ha corregido y ortorectificado, también conocida como ortoimagen, ortofoto u ortofotografía, estas imágenes pueden utilizarse para crear un mapa muy detallado y sin distorsiones.

**Método LIDAR:** Es una tecnología que permite medir distancias desde un emisor láser a un objeto o superficie.

**Pixel (Px):** es el elemento más pequeño de una imagen reproducida digitalmente.

**Resolución Espacial (GSD):** es la distancia entre el centro de dos píxeles consecutivos medidos en el suelo.

**Nube de puntos:** es el primer producto resultante del escaneo láser o la fotogrametría digital. Se compone por millones de puntos posicionados tridimensionalmente en el espacio, cada uno con sus propias coordenadas (X, Y, Z).

**Curvas de nivel:** es una línea, visible en el mapa y que une todos los puntos que tienen una misma condición que por norma general es la altitud sobre el nivel del mar, o bien la profundidad.

**Estructuras TIN:** Constituyen elementos vectoriales en tres dimensiones cuyo elemento exclusivo es un conjunto de triángulos que forman diferentes planos.

**Estructuras Raster:** Es aquella en la que el terreno está representado por una matriz o cuadrículas rectangulares georreferenciada cuyas celdas o elementos básicos son equidistantes

**Grillado:** Genera un arreglo espacial regular de valores de Z a partir de datos X, Y originales, irregularmente distribuidos; El grillado rellena esos espacios por medio de interpolaciones o extrapolaciones de los valores de Z en los lugares donde estos datos no existen. Según sea el Modelo que se aplique, la interpolación se realiza por diferentes métodos.

**Imágenes satelitales LANDSAT:** Están compuestas por 7 u 8 bandas espectrales, especialmente elegidas para el monitoreo de la vegetación, aplicaciones geológicas y estudio de los recursos naturales.

## ACRÓNIMOS

**GPS:** Sistema de Posicionamiento Global.

**UAV:** Vehículo Aéreo no tripulado.

**RPAS:** Sistema de aeronaves pilotadas a distancia

**CNR:** Centro Nacional de Registros.

**MDE:** Modelo digital de elevación.

**DTM o MDT:** Modelo digital de terreno.

**DMS:** Modelo digital de superficie.

**MAT:** Modelos analógicos del terreno.

**GNSS:** Sistema global de navegación por satélite.

**RTK:** Posicionamiento cinemático en tiempo real.

**WGS-84:** Sistema geodésico mundial.

**PPM:** Partes por millón.

**LIDAR:** sistema de medición y detección de objetos mediante láser.

**PC:** Constante de prisma.

**PDOP:** Dilución de Precisión en Posición.

**GDOP:** Dilución de Precisión Geométrica.

**MED:** Medida Electromagnética de Distancias

**HEMC:** Precisión horizontal.

**VEMC:** Precisión vertical.

**SIG:** Sistemas de Información Geográfica

**GSD:** Resolución Espacial

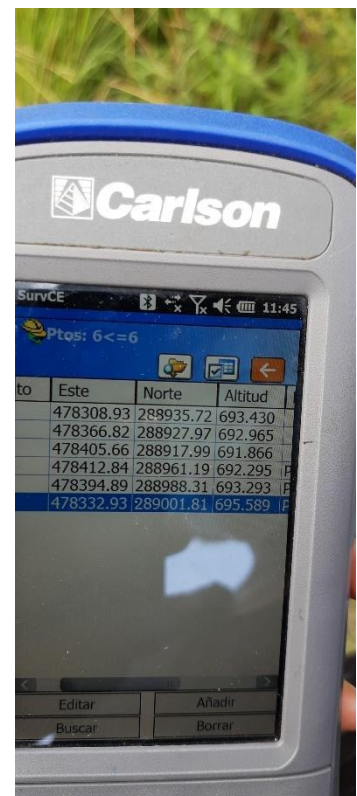
**GCP o PCF:** Puntos de Control Terrestre, Puntos de control fotogramétrico o Puntos de apoyo.

**AMSS:** Área Metropolitana de San Salvador

### Registro fotográfico del levantamiento fotogramétrico







## **Informes de procesamientos**

# Informe de Procesamiento Proyecto Tesis

Informe de Procesamiento Proyecto Tesis "Generacion de modelos digitales de terreno obtenido a través de levantamientos topograficos con vehiculo aereo no tripulado drone"

23 June 2023



## Datos del levantamiento

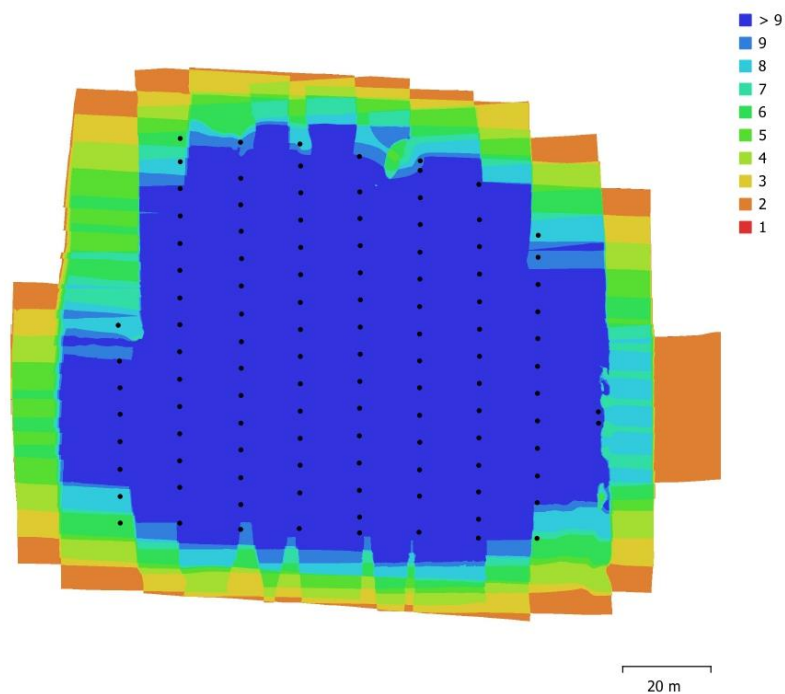


Fig. 1. Posiciones de cámaras y solapamiento de imágenes.

Número de imágenes: 111

Imágenes alineadas: 111

Altitud media de vuelo: 43.4 m

Puntos de paso: 80,932

Resolución en terreno: 9.42 mm/pix

Proyecciones: 341,167

Área cubierta: 0.0166 km<sup>2</sup>

Error de reproyección: 0.719 pix

Modelo de cámara	Resolución	Distancia focal	Tamaño de píxel	Precalibrada
Test_Pro (10.26mm)	5472 x 3648	10.26 mm	2.41 x 2.41 micras	No

Tabla 1. Cámaras.

## Calibración de cámara

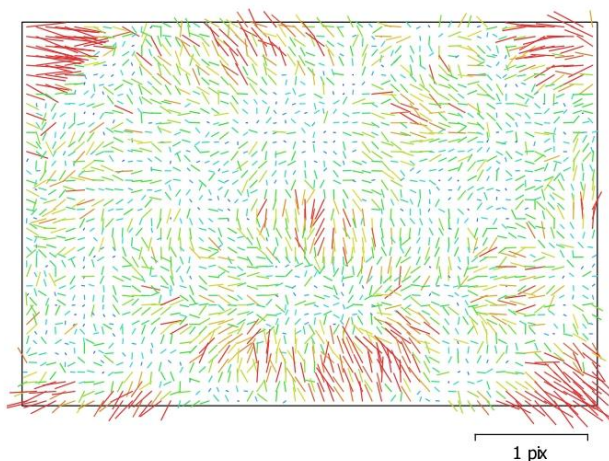


Fig. 2. Gráfico de residuales para Test\_Pro (10.26mm).

### Test\_Pro (10.26mm)

111 imágenes

Tipo **Cuadro**      Resolución **5472 x 3648**      Distancia focal **10.26 mm**      Tamaño de píxel **2.41 x 2.41 micras**

	Valor	Error	Cx	Cy	B1	B2	K1	K2	K3	P1	P2
<b>F</b>	<b>4256</b>										
<b>Cx</b>	<b>-9.52014</b>	0.1	1.00	0.03	-0.15	0.10	-0.01	0.02	-0.02	0.28	0.01
<b>Cy</b>	<b>-37.0572</b>	0.087		1.00	-0.10	-0.12	-0.01	0.01	-0.01	-0.00	0.27
<b>B1</b>	<b>-15.0229</b>	0.061			1.00	-0.02	-0.01	-0.00	-0.00	0.01	0.00
<b>B2</b>	<b>-1.18132</b>	0.061				1.00	0.00	0.01	-0.01	-0.02	-0.01
<b>K1</b>	<b>-0.00790981</b>	6.4e-05					1.00	-0.75	0.71	-0.25	0.07
<b>K2</b>	<b>0.0164125</b>	0.00019						1.00	-0.98	0.05	0.01
<b>K3</b>	<b>-0.0237689</b>	0.00021							1.00	-0.05	-0.01
<b>P1</b>	<b>-0.00137808</b>	3.4e-06								1.00	-0.04
<b>P2</b>	<b>-0.00274436</b>	2.4e-06									1.00

Tabla 2. Coeficientes de calibración y matriz de correlación.

## Puntos de control terrestre

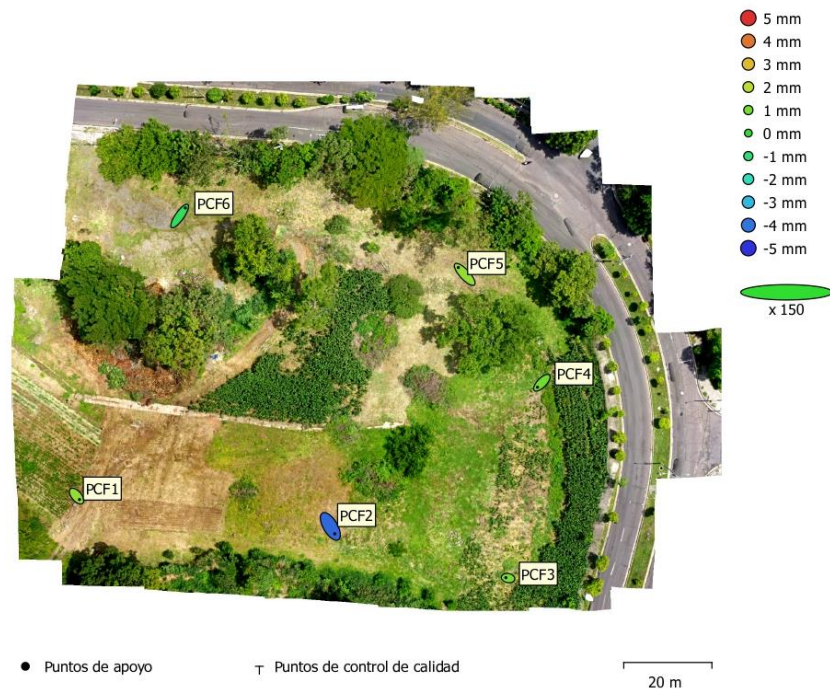


Fig. 3. Posiciones de puntos de apoyo y estimaciones de errores.  
 El color indica el error en Z mientras el tamaño y forma de la elipse representan el error en XY.  
 Las posiciones estimadas de puntos de apoyo se marcan con puntos o cruces.

Número	Error en X (cm)	Error en Y (cm)	Error en Z (cm)	Error en XY (cm)	Total (cm)
6	1.37597	1.73631	0.199382	2.21541	2.22436

Tabla 3. ECM de puntos de apoyo.  
 X - Este, Y - Norte, Z - Altitud.

<b>Nombre</b>	<b>Error en X (cm)</b>	<b>Error en Y (cm)</b>	<b>Error en Z (cm)</b>	<b>Total (cm)</b>	<b>Imagen (pix)</b>
PCF1	0.885853	-1.04163	0.1452	1.37507	0.901 (3)
PCF2	1.3245	-2.22688	-0.418358	2.62456	1.087 (7)
PCF3	-0.666405	0.125123	0.0979422	0.685087	1.456 (2)
PCF4	-1.32038	-1.35762	0.0945209	1.89617	0.702 (7)
PCF5	-1.9295	2.08278	0.141923	2.84273	0.571 (9)
PCF6	1.70593	2.41822	-0.0611871	2.96002	0.595 (7)
<b>Total</b>	<b>1.37597</b>	<b>1.73631</b>	<b>0.199382</b>	<b>2.22436</b>	<b>0.825</b>

Tabla 4. Puntos de apoyo.  
X - Este, Y - Norte, Z - Altitud.

## Modelo digital de elevaciones

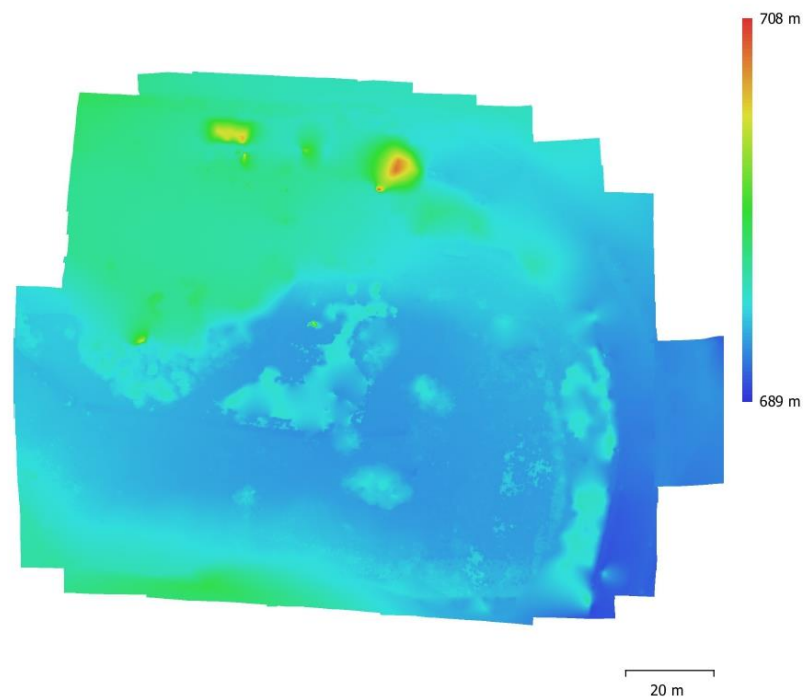


Fig. 4. Modelo digital de elevaciones.

Resolución: 1.88 cm/pix  
Densidad de puntos: 0.281 puntos/cm<sup>2</sup>

## Parámetros de procesamiento

### Generales

Cámaras	111
Cámaras orientadas	111
Marcadores	6

### Formas

Cadena de línea	4343
Sistema de coordenadas	LAMBERT SIRGAS ES2007.8
Ángulo de rotación	Guñada, cabeceo, alabeo

### Nube de puntos

Puntos	80,932 de 98,513
RMS error de reproyección	0.206272 (0.719364 pix)
Error de reproyección máximo	1.07749 (37.6317 pix)
Tamaño promedio de puntos característicos	3.00626 pix
Colores de puntos	3 bandas, uint8
Puntos clave	No
Multiplicidad media de puntos de paso	4.63486

### Parámetros de orientación

Precisión	Alta
Pre-selección genérica	No
Pre-selección de referencia	Origen
Puntos clave por foto	40,000
Puntos de paso por foto	4,000
Filtrar puntos por máscaras	Sí
Enmascarar puntos de paso	Sí
Excluir puntos de paso inmóviles	No
Emparejamiento guiado	No
Ajuste adaptativo del modelo de cámara	Sí
Tiempo búsqueda de emparejamientos	2 horas 16 minutos
Uso de memoria durante el emparejamiento	775.88 MB
Tiempo de orientación	2 minutos 16 segundos
Uso de memoria durante el alineamiento	136.01 MB

### Parámetros de optimización

Parámetros	cx, cy, k1-k3, p1, p2
Ajuste adaptativo del modelo de cámara	Sí
Tiempo de optimización	6 segundos
Versión del programa	2.0.1.16069
Tamaño de archivo	9.12 MB

### Mapas de profundidad

Número	111
--------	-----

### Parámetros de obtención de mapas de profundidad

Calidad	Alta
Nivel de filtrado	Moderado
Límite máximo de redundancia	16
Tiempo de procesamiento	15 minutos 42 segundos
Uso de memoria	3.41 GB
Versión del programa	2.0.1.16069
Tamaño de archivo	661.15 MB

### Nube de puntos densa

Puntos	58,768,583
Colores de puntos	3 bandas, uint8

<b>Parámetros de obtención de mapas de profundidad</b>	
Calidad	Alta
Nivel de filtrado	Moderado
Límite máximo de redundancia	16
Tiempo de procesamiento	15 minutos 42 segundos
Uso de memoria	3.41 GB
<b>Parámetros de clasificación de puntos</b>	
Confianza	0.01
Tiempo de clasificación	7 minutos 44 segundos
Uso de memoria durante la clasificación	2.95 GB
Versión del programa	2.0.1.16069
Tamaño de archivo	769.62 MB
<b>Modelo</b>	
Caras	11,575,976
Vértices	5,792,946
Colores de vértices	3 bandas, uint8
<b>Parámetros de obtención de mapas de profundidad</b>	
Calidad	Alta
Nivel de filtrado	Moderado
Límite máximo de redundancia	16
Tiempo de procesamiento	15 minutos 42 segundos
Uso de memoria	3.41 GB
<b>Parámetros de reconstrucción</b>	
Tipo de superficie	Bajorelieve / terreno
Origen de datos	Nube de puntos densa
Interpolación	Habilitada
Máscaras volumétricas estrictas	No
Tiempo de procesamiento	2 minutos 45 segundos
Uso de memoria	1.91 GB
Versión del programa	2.0.1.16069
Tamaño de archivo	265.03 MB
<b>MDE</b>	
Tamaño	8,661 x 6,653
Sistema de coordenadas	LAMBERT SIRGAS ES2007.8
<b>Parámetros de reconstrucción</b>	
Origen de datos	Malla
Interpolación	Habilitada
Tiempo de procesamiento	1 minuto 5 segundos
Uso de memoria	875.28 MB
Versión del programa	2.0.1.16069
Tamaño de archivo	151.30 MB
<b>Ortomosaico</b>	
Tamaño	17,079 x 12,735
Sistema de coordenadas	LAMBERT SIRGAS ES2007.8
Colores	3 bandas, uint8
<b>Parámetros de reconstrucción</b>	
Modo de mezcla	Mosaico
Superficie	MDE
Permitir el cierre de agujeros	Sí
Habilitar el filtro de efecto fantasma	No
Tiempo de procesamiento	3 minutos 59 segundos
Uso de memoria	1.23 GB
Versión del programa	2.0.1.16069
Tamaño de archivo	3.08 GB
<b>Sistema</b>	
Nombre del programa	Agisoft Metashape Professional

Versión del programa	1.7.3 build 12115
OS	Windows 64 bit
RAM	15.79 GB
CPU	11th Gen Intel(R) Core(TM) i5-11300H @ 3.10GHz
GPU(s)	NVIDIA GeForce GTX 1650

## Quality Report



Generated with Pix4Denterprise version 4.5.6

**!** **Important:** Click on the different icons for:

- ?** Help to analyze the results in the Quality Report
- i** Additional information about the sections

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

### Summary



Project	TESIS PIX4D MAPPER
Processed	2022-04-28 19:28:37
Camera Model Name(s)	L1D-20c_10.3_5472x3648 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	0.96 cm / 0.38 in
Area Covered	0.015 km <sup>2</sup> / 1.5070 ha / 0.01 sq. mi. / 3.7257 acres

### Quality Check



<b>?</b> <b>Images</b>	median of 72570 keypoints per image	✓
<b>?</b> <b>Dataset</b>	111 out of 111 images calibrated (100%), all images enabled	✓
<b>?</b> <b>Camera Optimization</b>	0.91% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	✓
<b>?</b> <b>Matching</b>	median of 14664.4 matches per calibrated image	✓
<b>?</b> <b>Georeferencing</b>	yes, 6 GCPs (6 3D), mean RMS error = 0.01 m	✓

### **?** Preview

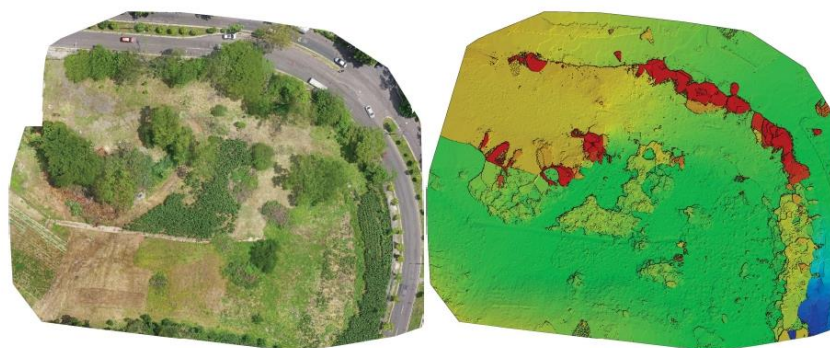


Figure 1: Orthomosaic and the corresponding sparse Digital Surface Model (DSM) before densification.

### Calibration Details



Number of Calibrated Images	111 out of 111
Number of Geolocated Images	111 out of 111

? Initial Image Positions

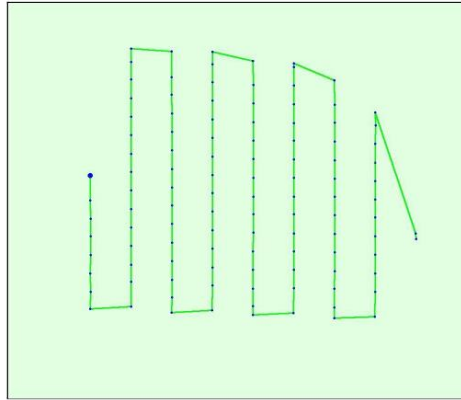
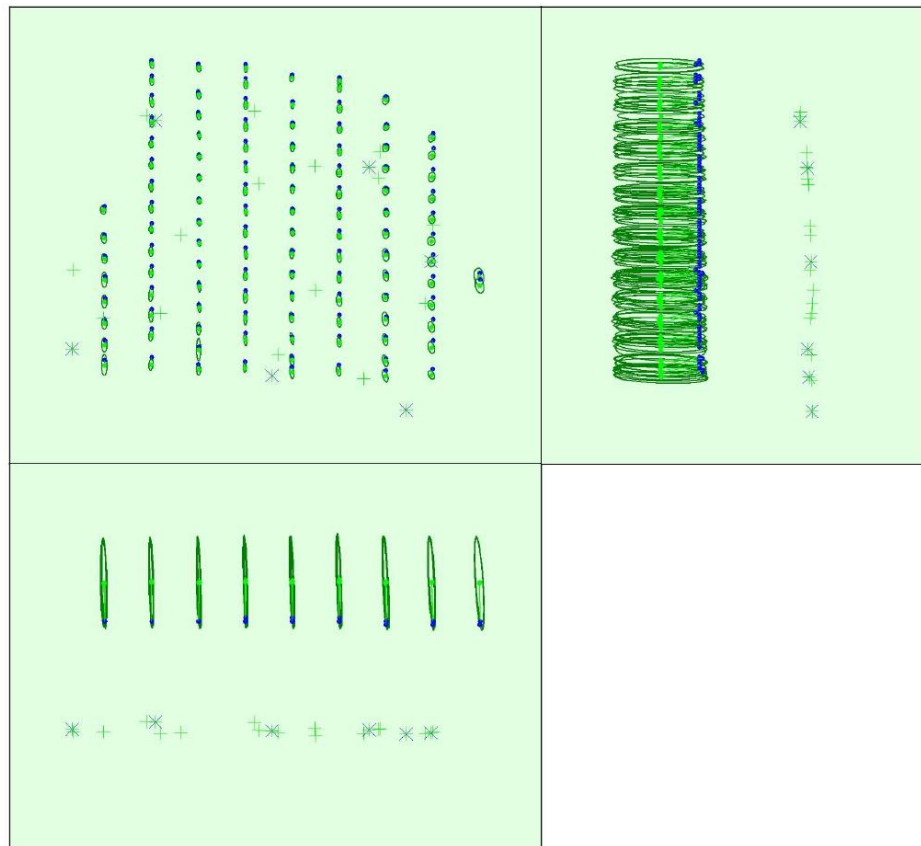


Figure 2: Top view of the initial image position. The green line follows the position of the images in time starting from the large blue dot.

? Computed Image/GCPs/Manual Tie Points Positions



Uncertainty ellipses 100x magnified

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

### ? Absolute camera position and orientation uncertainties

	X[m]	Y[m]	Z[m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]	Camera Displacement X[m]	Camera Displacement Y[m]	Camera Displacement Z[m]
Mean	0.007	0.015	0.131	0.022	0.009	0.002	0.001	0.001	0.006
Sigma	0.002	0.004	0.003	0.004	0.003	0.001	0.000	0.000	0.001

### ? Overlap

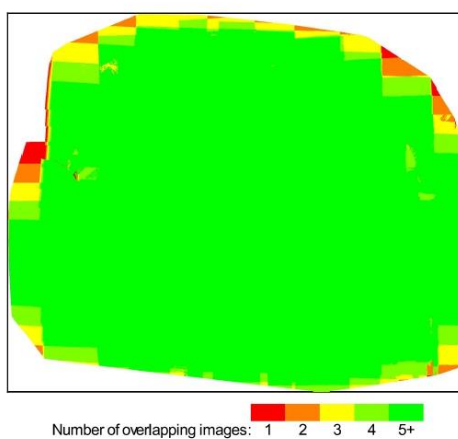


Figure 4: Number of overlapping images computed for each pixel of the orthomosaic. Red and yellow areas indicate low overlap for which poor results may be generated. Green areas indicate an overlap of over 5 images for every pixel. Good quality results will be generated as long as the number of keypoint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

## Bundle Block Adjustment Details

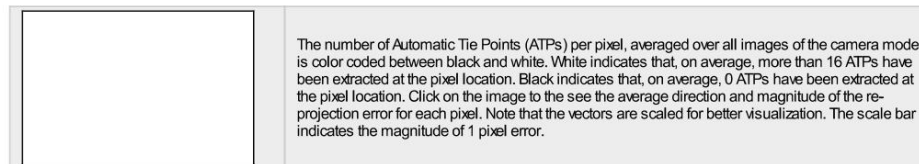
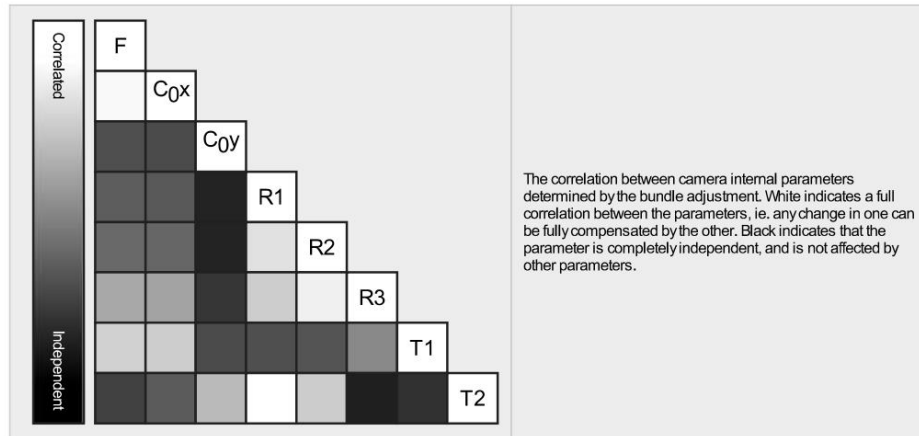
Number of 2D Keypoint Observations for Bundle Block Adjustment	1876200
Number of 3D Points for Bundle Block Adjustment	604055
Mean Reprojection Error [pixels]	0.152

### ? Internal Camera Parameters

L1D-20c\_10.3\_5472x3648 (RGB), Sensor Dimensions: 12.825 [mm] x 8.550 [mm]

EXIF ID: L1D-20c\_10.3\_5472x3648

	Focal Length	Principal Point x	Principal Point y	R1	R2	R3	T1	T2
Initial Values	4470.830 [pixel] 10.479 [mm]	2770.870 [pixel] 6.494 [mm]	1698.700 [pixel] 3.981 [mm]	0.009	0.040	-0.050	-0.003	0.002
Optimized Values	4511.539 [pixel] 10.574 [mm]	2713.028 [pixel] 6.359 [mm]	1776.405 [pixel] 4.163 [mm]	-0.009	0.024	-0.038	-0.003	-0.001
Uncertainties (Sigma)	13.907 [pixel] 0.033 [mm]	0.784 [pixel] 0.002 [mm]	0.890 [pixel] 0.002 [mm]	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000



**2D Keypoints Table**

	Number of 2D Keypoints per Image	Number of Matched 2D Keypoints per Image
Median	72570	14664
Mn	56366	4295
Max	79980	38871
Mean	72469	16903

**3D Points from 2D Keypoint Matches**

	Number of 3D Points Observed
In 2 Images	369799
In 3 Images	104194
In 4 Images	46329
In 5 Images	26236
In 6 Images	16079
In 7 Images	10585
In 8 Images	7846
In 9 Images	5686
In 10 Images	4518
In 11 Images	3158
In 12 Images	2254
In 13 Images	1694
In 14 Images	1367
In 15 Images	1070
In 16 Images	880
In 17 Images	725
In 18 Images	504
In 19 Images	341
In 20 Images	258
In 21 Images	199
In 22 Images	171
In 23 Images	108

2D Keypoint Matches

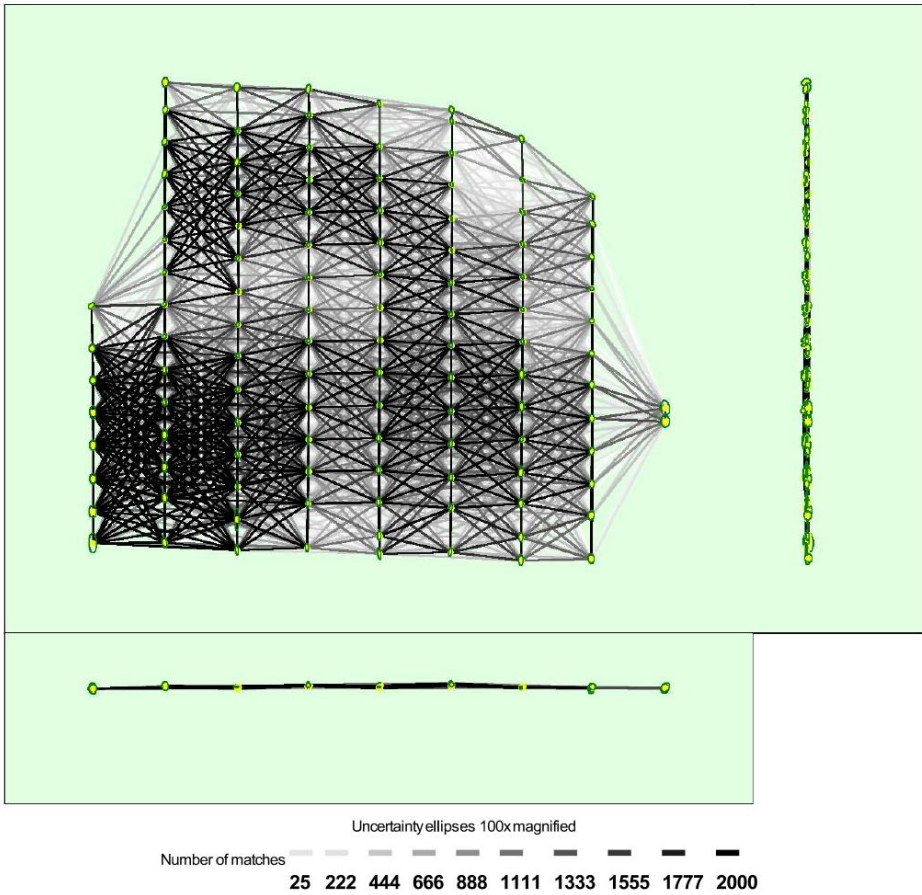


Figure 5: Computed image positions with links between matched images. The darkness of the links indicates the number of matched 2D keypoints between the images. Bright links indicate weak links and require manual tie points or more images. Dark green ellipses indicate the relative camera position uncertainty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

Relative camera position and orientation uncertainties

	X[m]	Y[m]	Z[m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]	Camera Displacement X[m]	Camera Displacement Y[m]	Camera Displacement Z[m]
Mean	0.004	0.007	0.003	0.018	0.013	0.004	0.002	0.003	0.004
Sigma	0.001	0.003	0.002	0.005	0.006	0.001	0.000	0.000	0.001

Manual Tie Points

MTP Name	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
mtp1	1.443	17 / 17
mtp2	1.059	10 / 10
mtp3	1.352	15 / 15
mtp4	1.452	24 / 24
mtp5	1.289	12 / 12

mtp6	0.901	19 / 19
mtp7	1.191	19 / 19
mtp8	1.272	19 / 19
mtp9	0.916	17 / 17
mtp10	1.266	10 / 10
mtp11	0.779	16 / 16
mtp12	1.151	17 / 17
mtp13	2.828	5 / 5
mtp14	2.422	12 / 12
mtp15	0.608	10 / 10

Projection errors for manual tie points. The last column counts the number of images where the manual tie point has been automatically verified vs. manually marked.

## Geolocation Details

### Ground Control Points

GCP Name	Accuracy XY/Z [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
PCF1 (3D)	0.020/ 0.020	0.014	-0.003	0.029	1.072	8 / 8
PCF2 (3D)	0.020/ 0.020	-0.005	0.001	-0.005	1.169	12 / 12
PCF3 (3D)	0.020/ 0.020	0.002	-0.011	-0.037	0.742	5 / 5
PCF4 (3D)	0.020/ 0.020	-0.001	0.004	0.012	0.800	14 / 14
PCF5 (3D)	0.020/ 0.020	0.002	-0.004	0.001	0.662	22 / 22
PCF6 (3D)	0.020/ 0.020	-0.001	0.005	-0.008	1.115	12 / 12
<b>Mean [m]</b>		0.001702	-0.001336	-0.001160		
<b>Sigma [m]</b>		0.005934	0.005315	0.019952		
<b>RMS Error [m]</b>		0.006173	0.005480	0.019986		

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

### Absolute Geolocation Variance

Min Error [m]	Max Error [m]	Geolocation Error X [%]	Geolocation Error Y [%]	Geolocation Error Z [%]
-	-15.00	0.00	0.00	0.00
-15.00	-12.00	0.00	0.00	0.00
-12.00	-9.00	0.00	0.00	0.00
-9.00	-6.00	0.00	0.00	0.00
-6.00	-3.00	0.00	0.00	0.00
-3.00	0.00	56.76	48.65	45.05
0.00	3.00	43.24	51.35	54.95
3.00	6.00	0.00	0.00	0.00
6.00	9.00	0.00	0.00	0.00
9.00	12.00	0.00	0.00	0.00
12.00	15.00	0.00	0.00	0.00
15.00	-	0.00	0.00	0.00
<b>Mean [m]</b>		0.054428	1.405750	-11.296016
<b>Sigma [m]</b>		0.164645	0.609601	0.325284
<b>RMS Error [m]</b>		0.173408	1.532236	11.300699

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

Geolocation Bias	X	Y	Z
Translation [m]	0.054428	1.405750	-11.296016

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

#### Relative Geolocation Variance

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

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

Geolocation Orientational Variance	RMS [degree]
Omega	0.574
Phi	1.600
Kappa	37.837

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

#### Rolling Shutter Statistics

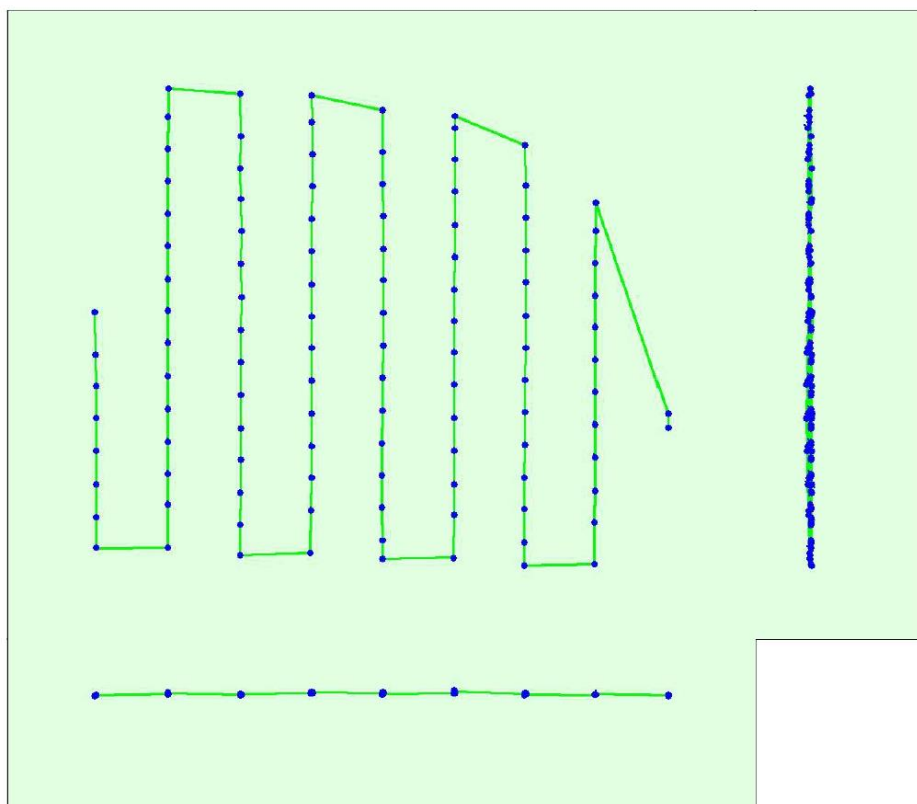


Figure 6: Camera movement estimated by the rolling shutter camera model. The green line follows the computed image positions. The blue dots represent the camera position at the start of the exposure. The blue lines represent the camera motion during the rolling shutter readout, re-scaled by a project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

Median Camera Speed	3.0716 [m/s]
Median Camera Displacement During Sensor Readout)	0.1932 [m]
Median Rolling Shutter Readout Time	64.85 [ms]

## Initial Processing Details

### System Information

Hardware	CPU: Intel(R) Core(TM) i7-9700 CPU @ 3.00GHz RAM: 16GB GPU: Radeon RX5500 XT (Driver: 30.0.13023.4001)
Operating System	Windows 10 Pro, 64-bit

### Coordinate Systems

Image Coordinate System	WGS 84 (EGM96 Geoid)
Ground Control Point (GCP) Coordinate System	Lambert_Conformal_Conic (EGM2008 Geoid)
Output Coordinate System	Lambert_Conformal_Conic (EGM2008 Geoid)

### Processing Options

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

## Point Cloud Densification details

### Processing Options

Image Scale	multiscale, 1/2 (Half image size, Default)
Point Density	Optimal
Minimum Number of Matches	3
3D Textured Mesh Generation	yes
3D Textured Mesh Settings:	Resolution: Medium Resolution (default) Color Balancing: yes
LOD	Generated: no
Advanced: 3D Textured Mesh Settings	Sample Density Divider: 1
Advanced: Image Groups	group1
Advanced: Use Processing Area	yes
Advanced: Use Annotations	yes

### Results

Number of Generated Tiles	1
Number of 3D Densified Points	13353358
Average Density (per m <sup>3</sup> )	3222.55

## DSM, Orthomosaic and Index Details

### Processing Options

DSM and Orthomosaic Resolution	1 x GSD (0.964 [cm/pixel])
DSM Filters	Noise Filtering: yes Surface Smoothing: yes, Type: Sharp
Raster DSM	Generated: yes Method: Inverse Distance Weighting Merge Tiles: yes
Orthomosaic	Generated: yes Merge Tiles: yes GeoTIFF Without Transparency: no Google Maps Tiles and KML: no
Raster DTM	Generated: yes Merge Tiles: yes
DTM Resolution	5 x GSD (0.964 [cm/pixel])
Contour Lines Generation	Generated: yes Contour Base [m]: 0 Elevation Interval [m]: 1 Resolution [cm]: 100 Minimum Line Size [vertices]: 20

6/28/23, 7:10 PM

Pixels to Points Processing Report

## Pixels to Points Processing Report

[Summary](#)  
[Overview](#)  
[Quality Assessment](#)  
[Processing Settings](#)

### Summary


Project Name	Nube de Puntos_log
Image Collection Date	08/19/21
Processing Date	06/28/23
Processing Time	4:51:43 hrs
Camera Make	Hasselblad L1D-20c
Average Flight Altitude	39.9153 m
Approximate Ground Spacing	0.82 cm (0.3229 in)
Image Count	111
Image Pixel Count	2,215,766,016
Coverage Area	0.01273 sq km
Fit Error (Mean)	0.94 m
Fit Error (Max)	1.48 m
Projection	UTM 16N (WGS84) [EPSG: 32616]

### Overview



6/28/23, 7:10 PM

Pixels to Points Processing Report

Orthoimage	Resolution: 0.04996 m																																																																																																																																				
																																																																																																																																					
3D Model	Vertex Count: 6,202,230 Face Count: 2,067,410																																																																																																																																				
Camera Positions	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Filename</th> <th>Latitude</th> <th>Longitude</th> <th>Elevation</th> <th>Roll</th> <th>Pitch</th> <th>Yaw</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>DJI_0274</td><td>13° 43' 20.9308" N</td><td>89° 12' 01.7394" W</td><td>763.824 m</td><td>0.000°</td><td>-84.557°</td><td>179.446°</td></tr> <tr><td>DJI_0275</td><td>13° 43' 20.6420" N</td><td>89° 12' 01.7270" W</td><td>764.227 m</td><td>0.000°</td><td>-84.718°</td><td>180.887°</td></tr> <tr><td>DJI_0276</td><td>13° 43' 20.4342" N</td><td>89° 12' 01.7240" W</td><td>764.276 m</td><td>0.000°</td><td>-84.681°</td><td>180.894°</td></tr> <tr><td>DJI_0277</td><td>13° 43' 20.2262" N</td><td>89° 12' 01.7243" W</td><td>764.378 m</td><td>0.000°</td><td>-84.641°</td><td>180.819°</td></tr> <tr><td>DJI_0278</td><td>13° 43' 20.0118" N</td><td>89° 12' 01.7244" W</td><td>764.458 m</td><td>0.000°</td><td>-84.646°</td><td>180.768°</td></tr> <tr><td>DJI_0279</td><td>13° 43' 19.7938" N</td><td>89° 12' 01.7237" W</td><td>764.430 m</td><td>0.000°</td><td>-84.611°</td><td>180.731°</td></tr> <tr><td>DJI_0280</td><td>13° 43' 19.5816" N</td><td>89° 12' 01.7204" W</td><td>764.469 m</td><td>0.000°</td><td>-84.639°</td><td>180.727°</td></tr> <tr><td>DJI_0281</td><td>13° 43' 19.3684" N</td><td>89° 12' 01.7156" W</td><td>764.576 m</td><td>0.000°</td><td>-84.625°</td><td>180.721°</td></tr> <tr><td>DJI_0282</td><td>13° 43' 19.3484" N</td><td>89° 12' 01.2400" W</td><td>765.476 m</td><td>0.000°</td><td>-89.363°</td><td>4.805°</td></tr> <tr><td>DJI_0283</td><td>13° 43' 19.6402" N</td><td>89° 12' 01.2422" W</td><td>765.508 m</td><td>0.000°</td><td>-88.525°</td><td>3.696°</td></tr> <tr><td>DJI_0284</td><td>13° 43' 19.8507" N</td><td>89° 12' 01.2446" W</td><td>765.555 m</td><td>0.000°</td><td>-88.111°</td><td>3.435°</td></tr> <tr><td>DJI_0285</td><td>13° 43' 20.0677" N</td><td>89° 12' 01.2459" W</td><td>765.476 m</td><td>0.000°</td><td>-87.675°</td><td>3.325°</td></tr> <tr><td>DJI_0286</td><td>13° 43' 20.2831" N</td><td>89° 12' 01.2481" W</td><td>765.343 m</td><td>0.000°</td><td>-87.329°</td><td>3.291°</td></tr> <tr><td>DJI_0287</td><td>13° 43' 20.4974" N</td><td>89° 12' 01.2494" W</td><td>765.281 m</td><td>0.000°</td><td>-87.030°</td><td>3.307°</td></tr> <tr><td>DJI_0288</td><td>13° 43' 20.7148" N</td><td>89° 12' 01.2509" W</td><td>765.215 m</td><td>0.000°</td><td>-86.699°</td><td>3.318°</td></tr> <tr><td>DJI_0289</td><td>13° 43' 20.9239" N</td><td>89° 12' 01.2501" W</td><td>764.988 m</td><td>0.000°</td><td>-86.496°</td><td>3.348°</td></tr> <tr><td>DJI_0290</td><td>13° 43' 21.1367" N</td><td>89° 12' 01.2497" W</td><td>764.729 m</td><td>0.000°</td><td>-86.114°</td><td>3.388°</td></tr> </tbody> </table>							Filename	Latitude	Longitude	Elevation	Roll	Pitch	Yaw	DJI_0274	13° 43' 20.9308" N	89° 12' 01.7394" W	763.824 m	0.000°	-84.557°	179.446°	DJI_0275	13° 43' 20.6420" N	89° 12' 01.7270" W	764.227 m	0.000°	-84.718°	180.887°	DJI_0276	13° 43' 20.4342" N	89° 12' 01.7240" W	764.276 m	0.000°	-84.681°	180.894°	DJI_0277	13° 43' 20.2262" N	89° 12' 01.7243" W	764.378 m	0.000°	-84.641°	180.819°	DJI_0278	13° 43' 20.0118" N	89° 12' 01.7244" W	764.458 m	0.000°	-84.646°	180.768°	DJI_0279	13° 43' 19.7938" N	89° 12' 01.7237" W	764.430 m	0.000°	-84.611°	180.731°	DJI_0280	13° 43' 19.5816" N	89° 12' 01.7204" W	764.469 m	0.000°	-84.639°	180.727°	DJI_0281	13° 43' 19.3684" N	89° 12' 01.7156" W	764.576 m	0.000°	-84.625°	180.721°	DJI_0282	13° 43' 19.3484" N	89° 12' 01.2400" W	765.476 m	0.000°	-89.363°	4.805°	DJI_0283	13° 43' 19.6402" N	89° 12' 01.2422" W	765.508 m	0.000°	-88.525°	3.696°	DJI_0284	13° 43' 19.8507" N	89° 12' 01.2446" W	765.555 m	0.000°	-88.111°	3.435°	DJI_0285	13° 43' 20.0677" N	89° 12' 01.2459" W	765.476 m	0.000°	-87.675°	3.325°	DJI_0286	13° 43' 20.2831" N	89° 12' 01.2481" W	765.343 m	0.000°	-87.329°	3.291°	DJI_0287	13° 43' 20.4974" N	89° 12' 01.2494" W	765.281 m	0.000°	-87.030°	3.307°	DJI_0288	13° 43' 20.7148" N	89° 12' 01.2509" W	765.215 m	0.000°	-86.699°	3.318°	DJI_0289	13° 43' 20.9239" N	89° 12' 01.2501" W	764.988 m	0.000°	-86.496°	3.348°	DJI_0290	13° 43' 21.1367" N	89° 12' 01.2497" W	764.729 m	0.000°	-86.114°	3.388°
Filename	Latitude	Longitude	Elevation	Roll	Pitch	Yaw																																																																																																																															
DJI_0274	13° 43' 20.9308" N	89° 12' 01.7394" W	763.824 m	0.000°	-84.557°	179.446°																																																																																																																															
DJI_0275	13° 43' 20.6420" N	89° 12' 01.7270" W	764.227 m	0.000°	-84.718°	180.887°																																																																																																																															
DJI_0276	13° 43' 20.4342" N	89° 12' 01.7240" W	764.276 m	0.000°	-84.681°	180.894°																																																																																																																															
DJI_0277	13° 43' 20.2262" N	89° 12' 01.7243" W	764.378 m	0.000°	-84.641°	180.819°																																																																																																																															
DJI_0278	13° 43' 20.0118" N	89° 12' 01.7244" W	764.458 m	0.000°	-84.646°	180.768°																																																																																																																															
DJI_0279	13° 43' 19.7938" N	89° 12' 01.7237" W	764.430 m	0.000°	-84.611°	180.731°																																																																																																																															
DJI_0280	13° 43' 19.5816" N	89° 12' 01.7204" W	764.469 m	0.000°	-84.639°	180.727°																																																																																																																															
DJI_0281	13° 43' 19.3684" N	89° 12' 01.7156" W	764.576 m	0.000°	-84.625°	180.721°																																																																																																																															
DJI_0282	13° 43' 19.3484" N	89° 12' 01.2400" W	765.476 m	0.000°	-89.363°	4.805°																																																																																																																															
DJI_0283	13° 43' 19.6402" N	89° 12' 01.2422" W	765.508 m	0.000°	-88.525°	3.696°																																																																																																																															
DJI_0284	13° 43' 19.8507" N	89° 12' 01.2446" W	765.555 m	0.000°	-88.111°	3.435°																																																																																																																															
DJI_0285	13° 43' 20.0677" N	89° 12' 01.2459" W	765.476 m	0.000°	-87.675°	3.325°																																																																																																																															
DJI_0286	13° 43' 20.2831" N	89° 12' 01.2481" W	765.343 m	0.000°	-87.329°	3.291°																																																																																																																															
DJI_0287	13° 43' 20.4974" N	89° 12' 01.2494" W	765.281 m	0.000°	-87.030°	3.307°																																																																																																																															
DJI_0288	13° 43' 20.7148" N	89° 12' 01.2509" W	765.215 m	0.000°	-86.699°	3.318°																																																																																																																															
DJI_0289	13° 43' 20.9239" N	89° 12' 01.2501" W	764.988 m	0.000°	-86.496°	3.348°																																																																																																																															
DJI_0290	13° 43' 21.1367" N	89° 12' 01.2497" W	764.729 m	0.000°	-86.114°	3.388°																																																																																																																															

6/28/23, 7:10 PM

Pixels to Points Processing Report

DJI_0291	13° 43' 21.3553" N	89° 12' 01.2502" W	764.640 m	0.000°	-85.747°	3.436°
DJI_0292	13° 43' 21.5652" N	89° 12' 01.2508" W	764.478 m	0.000°	-85.493°	3.481°
DJI_0293	13° 43' 21.7803" N	89° 12' 01.2494" W	764.027 m	0.000°	-85.246°	3.549°
DJI_0294	13° 43' 21.9951" N	89° 12' 01.2506" W	763.636 m	0.000°	-84.953°	3.605°
DJI_0295	13° 43' 22.2046" N	89° 12' 01.2495" W	763.082 m	0.000°	-84.666°	3.621°
DJI_0296	13° 43' 22.3815" N	89° 12' 01.2488" W	762.630 m	0.000°	-84.505°	3.692°
DJI_0297	13° 43' 22.3513" N	89° 12' 00.7495" W	762.756 m	0.000°	-85.953°	178.044°
DJI_0298	13° 43' 22.0791" N	89° 12' 00.7513" W	763.442 m	0.000°	-85.730°	178.905°
DJI_0299	13° 43' 21.8737" N	89° 12' 00.7566" W	763.539 m	0.000°	-85.607°	178.999°
DJI_0300	13° 43' 21.6681" N	89° 12' 00.7556" W	763.949 m	0.000°	-85.594°	179.004°
DJI_0301	13° 43' 21.4506" N	89° 12' 00.7530" W	764.667 m	0.000°	-85.741°	178.970°
DJI_0302	13° 43' 21.2354" N	89° 12' 00.7542" W	765.062 m	0.000°	-85.850°	178.892°
DJI_0303	13° 43' 21.0087" N	89° 12' 00.7525" W	765.187 m	0.000°	-85.966°	178.885°
DJI_0304	13° 43' 20.7833" N	89° 12' 00.7553" W	765.478 m	0.000°	-85.960°	178.868°
DJI_0305	13° 43' 20.5789" N	89° 12' 00.7555" W	765.606 m	0.000°	-86.005°	178.843°
DJI_0306	13° 43' 20.3641" N	89° 12' 00.7540" W	765.737 m	0.000°	-86.050°	178.780°
DJI_0307	13° 43' 20.1459" N	89° 12' 00.7538" W	765.705 m	0.000°	-86.022°	178.747°
DJI_0308	13° 43' 19.9342" N	89° 12' 00.7527" W	765.676 m	0.000°	-85.954°	178.680°
DJI_0309	13° 43' 19.7156" N	89° 12' 00.7521" W	765.686 m	0.000°	-85.883°	178.630°
DJI_0310	13° 43' 19.5050" N	89° 12' 00.7510" W	765.786 m	0.000°	-85.798°	178.608°
DJI_0311	13° 43' 19.3041" N	89° 12' 00.7504" W	765.845 m	0.000°	-85.624°	178.567°
DJI_0312	13° 43' 19.3076" N	89° 12' 00.2807" W	766.443 m	0.000°	-88.394°	3.635°
DJI_0313	13° 43' 19.5995" N	89° 12' 00.2772" W	766.556 m	0.000°	-87.934°	2.403°
DJI_0314	13° 43' 19.8212" N	89° 12' 00.2755" W	766.831 m	0.000°	-87.569°	2.161°
DJI_0315	13° 43' 20.0349" N	89° 12' 00.2755" W	766.959 m	0.000°	-87.245°	2.073°
DJI_0316	13° 43' 20.2491" N	89° 12' 00.2762" W	766.875 m	0.000°	-86.982°	2.062°
DJI_0317	13° 43' 20.4618" N	89° 12' 00.2765" W	766.689 m	0.000°	-86.785°	2.081°
DJI_0318	13° 43' 20.6781" N	89° 12' 00.2780" W	766.510 m	0.000°	-86.492°	2.141°
DJI_0319	13° 43' 20.8902" N	89° 12' 00.2778" W	766.219 m	0.000°	-86.204°	2.200°
DJI_0320	13° 43' 21.1023" N	89° 12' 00.2797" W	765.921 m	0.000°	-85.923°	2.260°
DJI_0321	13° 43' 21.3219" N	89° 12' 00.2790" W	765.669 m	0.000°	-85.610°	2.349°
DJI_0322	13° 43' 21.5368" N	89° 12' 00.2780" W	765.427 m	0.000°	-85.310°	2.411°
DJI_0323	13° 43' 21.7518" N	89° 12' 00.2774" W	764.979 m	0.000°	-85.008°	2.449°
DJI_0324	13° 43' 21.9695" N	89° 12' 00.2769" W	764.511 m	0.000°	-84.635°	2.474°
DJI_0325	13° 43' 22.1767" N	89° 12' 00.2775" W	764.101 m	0.000°	-84.438°	2.488°
DJI_0326	13° 43' 22.3429" N	89° 12' 00.2781" W	763.947 m	0.000°	-84.411°	2.524°
DJI_0327	13° 43' 22.2509" N	89° 11' 59.8010" W	763.909 m	0.000°	-86.974°	177.023°
DJI_0328	13° 43' 21.9625" N	89° 11' 59.7922" W	764.769 m	0.000°	-87.269°	178.054°
DJI_0329	13° 43' 21.7576" N	89° 11' 59.7962" W	765.173 m	0.000°	-87.132°	178.210°
DJI_0330	13° 43' 21.5457" N	89° 11' 59.7976" W	765.524 m	0.000°	-87.109°	178.235°
DJI_0331	13° 43' 21.3344" N	89° 11' 59.7984" W	765.797 m	0.000°	-87.132°	178.227°

6/28/23, 7:10 PM

Pixels to Points Processing Report

DJI_0332	13° 43' 21.1245" N	89° 11' 59.7972" W	766.083 m	0.000°	-87.226°	178.193°
DJI_0333	13° 43' 20.9081" N	89° 11' 59.7987" W	766.266 m	0.000°	-87.290°	178.124°
DJI_0334	13° 43' 20.6928" N	89° 11' 59.7979" W	766.300 m	0.000°	-87.370°	178.021°
DJI_0335	13° 43' 20.4789" N	89° 11' 59.7998" W	766.366 m	0.000°	-87.364°	177.943°
DJI_0336	13° 43' 20.2658" N	89° 11' 59.8008" W	766.388 m	0.000°	-87.320°	177.890°
DJI_0337	13° 43' 20.0458" N	89° 11' 59.8028" W	766.321 m	0.000°	-87.183°	177.785°
DJI_0338	13° 43' 19.8318" N	89° 11' 59.8053" W	766.113 m	0.000°	-87.012°	177.731°
DJI_0339	13° 43' 19.6148" N	89° 11' 59.8048" W	766.078 m	0.000°	-86.807°	177.664°
DJI_0340	13° 43' 19.4035" N	89° 11' 59.8012" W	766.100 m	0.000°	-86.633°	177.588°
DJI_0341	13° 43' 19.2752" N	89° 11' 59.8029" W	766.183 m	0.000°	-86.405°	177.603°
DJI_0342	13° 43' 19.2694" N	89° 11' 59.3118" W	766.393 m	0.000°	-87.046°	2.923°
DJI_0343	13° 43' 19.5676" N	89° 11' 59.3082" W	766.740 m	0.000°	-86.822°	1.638°
DJI_0344	13° 43' 19.7795" N	89° 11' 59.3084" W	767.144 m	0.000°	-86.599°	1.415°
DJI_0345	13° 43' 20.0011" N	89° 11' 59.3098" W	767.211 m	0.000°	-86.408°	1.292°
DJI_0346	13° 43' 20.2191" N	89° 11' 59.3146" W	767.284 m	0.000°	-86.173°	1.290°
DJI_0347	13° 43' 20.4388" N	89° 11' 59.3183" W	767.015 m	0.000°	-85.942°	1.273°
DJI_0348	13° 43' 20.6493" N	89° 11' 59.3196" W	766.703 m	0.000°	-85.756°	1.257°
DJI_0349	13° 43' 20.8569" N	89° 11' 59.3209" W	766.377 m	0.000°	-85.600°	1.253°
DJI_0350	13° 43' 21.0670" N	89° 11' 59.3227" W	765.927 m	0.000°	-85.486°	1.311°
DJI_0351	13° 43' 21.2829" N	89° 11' 59.3222" W	765.625 m	0.000°	-85.263°	1.358°
DJI_0352	13° 43' 21.4945" N	89° 11' 59.3232" W	765.405 m	0.000°	-85.025°	1.366°
DJI_0353	13° 43' 21.7121" N	89° 11' 59.3208" W	765.185 m	0.000°	-84.759°	1.390°
DJI_0354	13° 43' 21.9193" N	89° 11' 59.3165" W	764.927 m	0.000°	-84.535°	1.434°
DJI_0355	13° 43' 22.1321" N	89° 11' 59.3175" W	764.594 m	0.000°	-84.319°	1.443°
DJI_0356	13° 43' 22.1947" N	89° 11' 59.3160" W	764.457 m	0.000°	-84.501°	1.314°
DJI_0357	13° 43' 21.9984" N	89° 11' 58.8360" W	763.989 m	0.000°	-88.780°	176.655°
DJI_0358	13° 43' 21.7410" N	89° 11' 58.8471" W	764.464 m	0.000°	-88.167°	177.898°
DJI_0359	13° 43' 21.5427" N	89° 11' 58.8482" W	764.814 m	0.000°	-88.021°	178.172°
DJI_0360	13° 43' 21.3266" N	89° 11' 58.8468" W	765.034 m	0.000°	-88.151°	178.299°
DJI_0361	13° 43' 21.1056" N	89° 11' 58.8484" W	765.221 m	0.000°	-88.286°	178.347°
DJI_0362	13° 43' 20.8871" N	89° 11' 58.8491" W	765.416 m	0.000°	-88.343°	178.339°
DJI_0363	13° 43' 20.6743" N	89° 11' 58.8496" W	765.772 m	0.000°	-88.362°	178.342°
DJI_0364	13° 43' 20.4593" N	89° 11' 58.8457" W	765.828 m	0.000°	-88.427°	178.304°
DJI_0365	13° 43' 20.2418" N	89° 11' 58.8459" W	765.847 m	0.000°	-88.322°	178.277°
DJI_0366	13° 43' 20.0277" N	89° 11' 58.8454" W	765.964 m	0.000°	-88.195°	178.237°
DJI_0367	13° 43' 19.8108" N	89° 11' 58.8447" W	766.020 m	0.000°	-88.019°	178.223°
DJI_0368	13° 43' 19.6018" N	89° 11' 58.8451" W	765.893 m	0.000°	-87.814°	178.175°
DJI_0369	13° 43' 19.3849" N	89° 11' 58.8447" W	765.644 m	0.000°	-87.535°	178.141°
DJI_0370	13° 43' 19.2308" N	89° 11' 58.8470" W	765.520 m	0.000°	-87.211°	178.261°
DJI_0371	13° 43' 19.2343" N	89° 11' 58.3691" W	765.005 m	0.000°	-85.799°	3.139°
DJI_0372	13° 43' 19.5242" N	89° 11' 58.3700" W	765.296 m	0.000°	-85.737°	2.091°

6/28/23, 7:10 PM

## Pixels to Points Processing Report

DJI_0373	13° 43' 19.7374" N	89° 11' 58.3688" W	765.392 m	0.000°	-85.589°	1.881°
DJI_0374	13° 43' 19.9570" N	89° 11' 58.3703" W	765.296 m	0.000°	-85.427°	1.804°
DJI_0375	13° 43' 20.1731" N	89° 11' 58.3714" W	765.278 m	0.000°	-85.299°	1.830°
DJI_0376	13° 43' 20.3882" N	89° 11' 58.3723" W	765.180 m	0.000°	-85.170°	1.854°
DJI_0377	13° 43' 20.5990" N	89° 11' 58.3718" W	765.008 m	0.000°	-85.015°	1.889°
DJI_0378	13° 43' 20.8167" N	89° 11' 58.3700" W	764.846 m	0.000°	-84.819°	1.931°
DJI_0379	13° 43' 21.0252" N	89° 11' 58.3694" W	764.604 m	0.000°	-84.637°	1.960°
DJI_0380	13° 43' 21.2394" N	89° 11' 58.3675" W	764.436 m	0.000°	-84.435°	1.987°
DJI_0381	13° 43' 21.4498" N	89° 11' 58.3641" W	764.197 m	0.000°	-84.230°	2.022°
DJI_0382	13° 43' 21.6213" N	89° 11' 58.3625" W	764.111 m	0.000°	-84.175°	2.017°
DJI_0383	13° 43' 20.2285" N	89° 11' 57.8953" W	764.273 m	0.000°	-88.693°	175.904°
DJI_0384	13° 43' 20.1537" N	89° 11' 57.8950" W	764.644 m	0.000°	-89.050°	178.243°

## Quality Assessment

Filename	# Observations	Residuals (min)	Residuals (median)	Residuals (mean)	Residuals (max)
DJI_0274	8,861	0.0000 m	0.3045 m	0.4813 m	3.9291 m
DJI_0275	21,991	0.0000 m	0.2179 m	0.3500 m	3.9473 m
DJI_0276	31,037	0.0000 m	0.2197 m	0.3487 m	3.7761 m
DJI_0277	34,587	0.0000 m	0.2383 m	0.3699 m	3.6203 m
DJI_0278	37,666	0.0000 m	0.2858 m	0.4208 m	3.7724 m
DJI_0279	38,614	0.0000 m	0.2968 m	0.4292 m	3.7522 m
DJI_0280	35,469	0.0000 m	0.2858 m	0.4425 m	3.8765 m
DJI_0281	26,296	0.0000 m	0.3419 m	0.5229 m	3.8054 m
DJI_0282	27,381	0.0000 m	0.3722 m	0.5099 m	3.9320 m
DJI_0283	40,748	0.0000 m	0.3498 m	0.4924 m	3.9011 m
DJI_0284	40,229	0.0000 m	0.3395 m	0.4580 m	3.8868 m
DJI_0285	37,453	0.0000 m	0.3678 m	0.4908 m	3.9157 m
DJI_0286	34,153	0.0000 m	0.3420 m	0.4720 m	3.9465 m
DJI_0287	26,670	0.0000 m	0.3133 m	0.4388 m	3.8005 m
DJI_0288	19,018	0.0000 m	0.2990 m	0.4196 m	3.7501 m
DJI_0289	13,922	0.0000 m	0.2391 m	0.3673 m	3.5220 m
DJI_0290	15,176	0.0000 m	0.2287 m	0.3687 m	3.4221 m
DJI_0291	20,575	0.0000 m	0.1962 m	0.3233 m	3.4990 m
DJI_0292	27,456	0.0000 m	0.1898 m	0.3091 m	3.9278 m
DJI_0293	28,612	0.0000 m	0.1972 m	0.3070 m	3.7788 m
DJI_0294	23,865	0.0000 m	0.2084 m	0.3163 m	3.7012 m
DJI_0295	18,183	0.0000 m	0.2123 m	0.3700 m	3.8623 m
DJI_0296	11,034	0.0000 m	0.2559 m	0.4455 m	3.6625 m
DJI_0297	6,901	0.0000 m	0.4652 m	0.6851 m	3.8667 m
DJI_0298	18,319	0.0000 m	0.3348 m	0.5072 m	3.9021 m

file:///C:/PROYECTO TESIS/TESIS GLOBAL MAPPER/Nube de Puntos\_report.htm

5/8

6/28/23, 7:10 PM

## Pixels to Points Processing Report

DJI_0299	25.195	0.0000 m	0.2729 m	0.4163 m	3.8762 m
DJI_0300	27.826	0.0000 m	0.2336 m	0.3579 m	3.8863 m
DJI_0301	23.995	0.0000 m	0.2776 m	0.3944 m	3.6196 m
DJI_0302	17.288	0.0000 m	0.2965 m	0.4307 m	3.6729 m
DJI_0303	13.906	0.0000 m	0.3165 m	0.4398 m	3.8413 m
DJI_0304	12.152	0.0000 m	0.3225 m	0.4638 m	3.8755 m
DJI_0305	17.666	0.0000 m	0.2925 m	0.4464 m	3.7488 m
DJI_0306	22.105	0.0000 m	0.2550 m	0.4009 m	3.6198 m
DJI_0307	27.252	0.0000 m	0.2549 m	0.3890 m	3.7601 m
DJI_0308	32.003	0.0000 m	0.2718 m	0.4083 m	3.8217 m
DJI_0309	35.164	0.0000 m	0.2765 m	0.4199 m	3.9304 m
DJI_0310	31.532	0.0000 m	0.2840 m	0.4308 m	3.7288 m
DJI_0311	22.763	0.0000 m	0.3827 m	0.5554 m	3.8649 m
DJI_0312	13.934	0.0000 m	0.3531 m	0.5253 m	3.8821 m
DJI_0313	24.029	0.0000 m	0.2809 m	0.4268 m	3.8613 m
DJI_0314	26.216	0.0000 m	0.2582 m	0.4077 m	3.7931 m
DJI_0315	25.130	0.0000 m	0.2359 m	0.3811 m	3.7420 m
DJI_0316	23.830	0.0000 m	0.2279 m	0.3615 m	3.7365 m
DJI_0317	22.538	0.0000 m	0.2242 m	0.3503 m	3.7532 m
DJI_0318	20.124	0.0000 m	0.2167 m	0.3481 m	3.8454 m
DJI_0319	17.474	0.0000 m	0.2233 m	0.3480 m	3.6556 m
DJI_0320	16.351	0.0000 m	0.2508 m	0.3655 m	3.6024 m
DJI_0321	16.843	0.0000 m	0.2188 m	0.3394 m	3.6628 m
DJI_0322	21.472	0.0000 m	0.1946 m	0.3227 m	3.5928 m
DJI_0323	23.156	0.0000 m	0.2051 m	0.3441 m	3.8712 m
DJI_0324	20.323	0.0000 m	0.2452 m	0.3956 m	3.7845 m
DJI_0325	14.415	0.0000 m	0.3014 m	0.4883 m	3.8555 m
DJI_0326	9.417	0.0000 m	0.4886 m	0.6891 m	3.8113 m
DJI_0327	6.436	0.0000 m	0.3752 m	0.6206 m	4.0066 m
DJI_0328	13.378	0.0000 m	0.2591 m	0.4218 m	3.8280 m
DJI_0329	20.255	0.0000 m	0.2090 m	0.3388 m	3.9011 m
DJI_0330	24.032	0.0000 m	0.1909 m	0.3169 m	3.6878 m
DJI_0331	22.661	0.0000 m	0.1993 m	0.3374 m	3.8225 m
DJI_0332	20.874	0.0000 m	0.2232 m	0.3710 m	4.0358 m
DJI_0333	19.080	0.0000 m	0.2388 m	0.3767 m	3.8082 m
DJI_0334	19.192	0.0000 m	0.2788 m	0.4101 m	3.8960 m
DJI_0335	20.090	0.0000 m	0.2408 m	0.3688 m	3.9391 m
DJI_0336	21.019	0.0000 m	0.2407 m	0.3835 m	3.8721 m
DJI_0337	19.924	0.0000 m	0.2594 m	0.4017 m	3.8568 m
DJI_0338	21.538	0.0000 m	0.2565 m	0.4140 m	3.7881 m
DJI_0339	22.251	0.0000 m	0.2565 m	0.4124 m	3.7723 m

6/28/23, 7:10 PM

## Pixels to Points Processing Report

DJI_0340	23.294	0.0000 m	0.1934 m	0.3713 m	3.7328 m
DJI_0341	18.575	0.0000 m	0.2159 m	0.4369 m	3.9767 m
DJI_0342	11.882	0.0000 m	0.3611 m	0.5721 m	3.9259 m
DJI_0343	19.615	0.0000 m	0.2648 m	0.4374 m	3.8878 m
DJI_0344	23.206	0.0000 m	0.2598 m	0.4137 m	3.7705 m
DJI_0345	21.168	0.0000 m	0.2501 m	0.4093 m	3.7615 m
DJI_0346	19.987	0.0000 m	0.2462 m	0.3946 m	3.9226 m
DJI_0347	18.873	0.0000 m	0.2211 m	0.3554 m	3.9806 m
DJI_0348	17.470	0.0000 m	0.2274 m	0.3538 m	3.6860 m
DJI_0349	16.563	0.0000 m	0.2876 m	0.4366 m	3.8910 m
DJI_0350	16.182	0.0000 m	0.2241 m	0.3686 m	3.8030 m
DJI_0351	16.715	0.0000 m	0.2062 m	0.3615 m	3.9528 m
DJI_0352	15.635	0.0000 m	0.1969 m	0.3454 m	3.5266 m
DJI_0353	11.894	0.0000 m	0.2091 m	0.3680 m	3.7638 m
DJI_0354	9.984	0.0000 m	0.2194 m	0.3755 m	3.5373 m
DJI_0355	7.056	0.0000 m	0.2600 m	0.4203 m	3.2425 m
DJI_0356	5.642	0.0000 m	0.3315 m	0.4879 m	3.6125 m
DJI_0357	5.396	0.0000 m	0.2808 m	0.4045 m	3.3333 m
DJI_0358	5.091	0.0000 m	0.2902 m	0.4748 m	3.9266 m
DJI_0359	8.003	0.0000 m	0.2826 m	0.4473 m	4.1213 m
DJI_0360	10.629	0.0000 m	0.2700 m	0.4280 m	3.7957 m
DJI_0361	12.146	0.0000 m	0.1988 m	0.3356 m	3.7790 m
DJI_0362	12.757	0.0000 m	0.2191 m	0.3454 m	3.9998 m
DJI_0363	14.238	0.0000 m	0.2466 m	0.3846 m	3.8875 m
DJI_0364	16.388	0.0000 m	0.2079 m	0.3338 m	3.8770 m
DJI_0365	17.878	0.0000 m	0.2261 m	0.3535 m	3.6984 m
DJI_0366	19.725	0.0000 m	0.2543 m	0.3907 m	3.7129 m
DJI_0367	19.928	0.0000 m	0.2560 m	0.4028 m	3.7855 m
DJI_0368	18.804	0.0000 m	0.2732 m	0.4117 m	3.8479 m
DJI_0369	19.840	0.0000 m	0.2397 m	0.4135 m	3.8043 m
DJI_0370	15.299	0.0000 m	0.2736 m	0.5079 m	3.9108 m
DJI_0371	8.990	0.0000 m	0.2465 m	0.4227 m	3.9999 m
DJI_0372	15.391	0.0000 m	0.1971 m	0.3485 m	3.9419 m
DJI_0373	17.647	0.0000 m	0.1940 m	0.3299 m	3.8103 m
DJI_0374	16.575	0.0000 m	0.2085 m	0.3528 m	3.9662 m
DJI_0375	15.594	0.0000 m	0.2338 m	0.3858 m	3.8980 m
DJI_0376	13.398	0.0000 m	0.2369 m	0.3832 m	3.8318 m
DJI_0377	11.602	0.0000 m	0.2325 m	0.3639 m	3.5385 m
DJI_0378	11.517	0.0000 m	0.2364 m	0.3579 m	3.4800 m
DJI_0379	12.284	0.0000 m	0.2132 m	0.3397 m	3.5352 m
DJI_0380	11.749	0.0000 m	0.2101 m	0.3383 m	3.6423 m

6/28/23, 7:10 PM

## Pixels to Points Processing Report

DJI_0381	13,311	0.0000 m	0.2361 m	0.4226 m	3.8751 m
DJI_0382	9,826	0.0000 m	0.2698 m	0.4879 m	4.1986 m
DJI_0383	4,869	0.0000 m	0.2910 m	0.4954 m	3.5812 m
DJI_0384	4,599	0.0000 m	0.3347 m	0.6100 m	3.8601 m

## Processing Settings

Method	Incremental
Quality	High
Camera	Pinhole_Radial_3
Image Reduce Factor	1