

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



**TECNOLOGÍA GPS Y SENSORES REMOTOS PARA  
PROYECTOS DE INGENIERÍA CIVIL**

**LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO DE UNA LADERA  
INESTABLE MEDIANTE FOTOGRAMETRÍA CON DRON Y  
USO DE EQUIPO GPS VINCULADO A UN SISTEMA DE  
INFORMACIÓN GEOGRÁFICO Y AL SISTEMA DE  
REFERENCIA GEODÉSICO LAMBERT SIRGAS ES-2007 EN LA  
CARRETERA DE ORO KM 18.5, DEPARTAMENTO DE SAN  
SALVADOR, MUNICIPIO DE SAN SALVADOR CENTRO, EL  
SALVADOR**

PRESENTADA POR:

**JOSÉ FERNANDO CORTEZ GUZMÁN  
EDWARD DAVID MIRANDA GUZMÁN  
CARLOS ROBERTO REYES MUÑOZ  
ARIEL ABRAHAM SÁNCHEZ RIVERA**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:  
**INGENIERO(A) CIVIL**

CIUDAD UNIVERSITARIA, FEBRERO DE 2025

RECTOR:

**MSc. JUAN ROSA QUINTANILLA**

SECRETARIO GENERAL:

**LIC. PEDRO ROSALÍO ESCOBAR CASTANEDA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

DECANO:

**ING. LUIS SALVADOR BARRERA MANCÍA**

SECRETARIO:

**ARQ. RAÚL ALEXANDER FABIÁN ORELLANA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

DIRECTOR:

(Interino)

**ING. CARLOS ALBERTO ESCOBAR FLORES**

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

Curso de Especialización previo a la opción al Grado de:

**INGENIERO(A) CIVIL**

Título:

**TECNOLOGÍA GPS Y SENSORES REMOTOS PARA PROYECTOS DE  
INGENIERÍA CIVIL  
LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO DE UNA LADERA INESTABLE  
MEDIANTE FOTOGRAMETRÍA CON DRON Y USO DE EQUIPO GPS  
VINCULADO A UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICO Y AL  
SISTEMA DE REFERENCIA GEODÉSICO LAMBERT SIRGAS ES-2007  
EN LA CARRETERA DE ORO KM 18.5, DEPARTAMENTO DE SAN  
SALVADOR, MUNICIPIO DE SAN SALVADOR CENTRO, EL  
SALVADOR**

Presentado por:

**JOSÉ FERNANDO CORTEZ GUZMÁN**

**EDWARD DAVID MIRANDA GUZMÁN**

**CARLOS ROBERTO REYES MUÑOZ**

**ARIEL ABRAHAM SÁNCHEZ RIVERA**

Curso de Especialización Aprobado por:

Docente asesor:

**ING. WILFREDO AMAYA ZELAYA**

San Salvador, febrero de 2025

Curso de Especialización aprobado por:

Docente Asesor:

**ING. WILFREDO AMAYA ZELAYA**

## ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>xxiv</b>
<b>CAPÍTULO I: GENERALIDADES .....</b>	<b>1</b>
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Planteamiento del problema.....	4
1.3 Objetivos.....	6
1.3.1 Objetivo General.....	6
1.3.2 Objetivos Específicos.....	6
1.4 Alcances.....	8
1.5 Limitaciones.....	10
1.6 Justificación.....	11
<b>CAPÍTULO 2: FUNDAMENTOS GEOLÓGICOS .....</b>	<b>13</b>
2. Antecedentes Históricos.....	13
2.1 Formación geológica de El Salvador.....	13
2.2 Morfología de El Salvador.....	16
2.2.1 Aspectos generales de la vulcanología de El Salvador.....	16
2.2.2 Aspectos generales de la sismología de El Salvador.....	20

2.2.3 Antecedentes de la zona de la ladera conocida como mirador “La barranquilla” .....	22
<b>CAPÍTULO 3: FUNDAMENTOS DE GEODESIA.....</b>	<b>26</b>
3.1 Antecedentes.....	26
3.2 Geoide.....	29
3.3 Elipsoide de referencia.....	29
3.4 Elipsoide vs Geoide.....	32
3.5 Datum.....	33
3.6 Sistema de coordenadas geográficas.....	35
3.7 Sistema de coordenadas planas.....	36
3.8 Proyecciones cartográficas.....	37
3.9 Sistema de referencia geodésico.....	40
3.10 Sistemas Globales de Navegación por Satélite (GNSS).....	41
3.10.1 GPS.....	42
3.10.2 GLONASS.....	43
3.10.3 Sistema GALILEO.....	44
3.10.4 BeiDou.....	45
3.11 Técnicas de medición con GPS.....	46
3.11.2 Levantamiento estático-rápido.....	47

3.11.3	Levantamiento cinemático .....	47
3.11.4	Levantamiento RTK .....	49
<b>CAPÍTULO 4: DEFINICIONES GENERALES.....</b>		<b>51</b>
4.1	Fotogrametría.....	51
4.2	Estereoscopía como principio para la fotogrametría. ....	53
4.3	Aerotriangulación.....	57
4.4	Definición de topografía.....	60
4.4.1	Levantamiento topográfico.....	61
<b>CAPÍTULO 5: TRABAJO DE CAMPO.....</b>		<b>63</b>
5.1	Descripción del entorno y condiciones del área para el levantamiento topográfico.....	63
5.2	Identificación estratégica de puntos de control fotogramétricos (PCF) y medición con equipo GPS mediante la técnica RTK-NTRIP para georeferenciación.....	64
5.3	Planificación y ejecución del vuelo con dron. ....	67
5.3.1	Componentes para la configuración de un plan de vuelo. ....	68
5.4	DJI GO 4 .....	71
5.4.1	Interface DJI GO 4 .....	72
5.4.2	Configuraciones Generales .....	73

5.5 PIX4D Capture Pro.....	77
5.5.1 Planificación de vuelo topográfico con Pix4d Capture Pro.....	79
<b>CAPÍTULO 6: TRABAJO DE GABINETE.....</b>	<b>87</b>
6.1 Procesamiento en Pix4Dmapper.....	87
6.1.1 Paso 1 o Procesamiento inicial.....	87
6.1.2 Paso 2 o nube de punto y malla .....	88
6.1.3 Paso 3 o MDS: Ortomosaicos e índices. ....	90
6.2 Procesamiento de la ladera carretera de Oro en marcha.....	91
6.2.1 PASO 1 .....	91
6.2.2 PASO 2 .....	114
6.2.3 PASO 3.....	121
6.2.4 Exportación de nube de puntos densificada.....	128
6.3 Análisis de resultados obtenidos de pix4dmapper.....	134
6.3.1 Análisis de informe de calidad PIX4DMAPPER .....	134
6.4 Creación de plano topográfico a partir de los datos obtenidos de PIX4DMAPPER (Altimétrico y Planimétrico Simultáneas).....	146
6.4.1 Proceso general de la restitución fotogramétrica (planimetría).....	147
6.4.2 Proceso de importación de curvas de nivel (altimetría) .....	150
6.5 Mediciones de verificación para calidad topografica .....	153

6.5.1 Importación de puntos de control fotogramétrico y ortomosaico.....	154
6.5.2 Verificación de medidas tomadas en campo.....	156
6.6. Procedimiento para obtener análisis de superficies con AutoCAD Civil 3D (Versión Estudiantil). .....	158
6.7 Integración de resultados por medio de sistema de información geográfico utilizando el software Qgis de código abierto. ....	162
6.8 Evaluación de las condiciones actuales del talud y su inestabilidad potencial .....	178
6.8.1 Indicadores de inestabilidad superficial .....	178
6.8.2 Análisis geométrico del talud y su relación con la inestabilidad potencial .....	187
6.8.3 Estudios necesarios para solucionar la problemática del talud.....	191
<b>CAPÍTULO 7. RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES .....</b>	<b>195</b>
7.1 Conclusiones.....	195
7.2 Recomendaciones.....	198
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>201</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>204</b>
9.1 Glosario .....	204
9.2 Planos. ....	213

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1. Evolución geotectónica de América Central .....	14
Figura 2-2 Cierre del istmo centroamericano.....	15
Figura 2-3 Se muestra una escala cronoestratigráfica sobre la evolución de la tierra.....	16
Figura 2-4. Deformación de muro de gavión sobre Carretera de Oro, kilómetro 18.5.....	24
Figura 2-5. Condición actual de la ladera y canaleta de aguas lluvias en la parte alta del muro de gavión.....	24
Figura 2-6. Condición actual sobre la corona de la ladera en la que se observa vegetación muy superficial.....	25
Figura 2-7. Vista panorámica de la ladera desde abajo hacia arriba y el mirador “Barranquilla”. .....	25
Figura 3-1. Cosmovisión mesopotámica.....	27
Figura 3-2. Visión griega del mundo. ....	27
Figura 3-3. Cosmovisión egipcia.....	28
Figura 3-4. Geoide.....	29
Figura 3-5. Diferentes formas geométricas y sus ejes.....	30
Figura 3-6. Diferencia entre un elipsoide y el geoide.....	33
Figura 3-7. Estación fundamental del datum NAD27 .....	34

Figura 3-8. Latitud y longitud en la esfera terrestre.....	36
Figura 3-9. Proyección de Albers.....	38
Figura 3-10. Proyección de Mercator.....	38
Figura 3-11: Proyección sinusoidal.....	39
Figura 3-12. Proyección acimutal equidistante.....	39
Figura 3-13. Sistema geodésico de referencia.....	41
Figura 3-14. Constelación de satélites.....	42
Figura 3-15. Segmento de control del sistema GPS.....	43
Figura 3-16. Cuadro resumen de satélites de GLONASS.....	44
Figura 3-17. Logo del sistema GALILEO.....	45
Figura 3-18. Logo del sistema BeiDou.....	45
Figura 4-1. Percepción visual desde los ojos humanos.....	54
Figura 4-2. Muestra de cómo al cruzar los ojos se puede lograr el efecto 3D. .	54
Figura 4-3. Ejemplo de un plan de vuelo con sus traslapé.....	55
Figura 4-4. Representación de planimetría de un terreno.....	61
Figura 4-5. Representación de la altimetría de un terreno.....	62
Figura 5-1. Zona de interés sobre Carretera de Oro.....	64
Figura 5-2. Fotografía de la zona de interés.....	64

Figura 5-3. Posicionamiento y nivelación de equipo GPS de doble frecuencia para la toma de puntos PCF con la técnica RTK NTRIP. ....	65
Figura 5-4. Posicionamiento y nivelación para la toma de puntos de los PCF con RTK NTRIP. ....	65
Figura 5-5: Marca foto identificable para el cálculo del PCF con RTK NTRIP..	66
Figura 5-6. Geolocalización de los PCF con RTK NTRIP.....	66
Figura 5-7. Fotografía de dron utilizado en la medición de la zona de estudio de la ladera. ....	68
Figura 5-8. Control del dron utilizado. ....	70
Figura 5-9. Interface DJI GO 4.....	72
Figura 5-10. Configuraciones generales. ....	73
Figura 5-11. Ladera de estudio .....	75
Figura 5-12. Interfaz del estado de batería del dron. ....	77
Figura 5-13. Logo PIX4D capture pro .....	78
Figura 5-14. Registro oficial PIX4D.....	79
Figura 5-15. Interfaz PIX4D .....	79
Figura 5-16. Configuración “Map View” .....	80
Figura 5-17. Posicionamiento del terreno a estudiar en PIX4D .....	80
Figura 5-18. Grids de PIX4D.....	81

Figura 5-19. Indicaciones generales de la grid .....	81
Figura 5-20. Franja que delimita el grid. ....	82
Figura 5-21. Ajuste de la grid en el terreno de estudio.....	82
Figura 5-22. Ajuste por solapamiento .....	83
Figura 5-23. Opciones de la grid.....	84
Figura 5-24. Ajustes finales de la grid. ....	85
Figura 6-1. Proyecto nuevo PIX4DMAPPER (Versión Estudiantil).....	91
Figura 6-2. Añadir directorios PIX4DMAPPER.....	92
Figura 6-3. Búsqueda de datos PIX4DMAPPER .....	92
Figura 6-4. Búsqueda de datos PIX4DMAPPER .....	93
Figura 6-5. Propiedades de imágenes .....	94
Figura 6-6. Configuración de sistema de coordenadas de salida PIX4DMAPPER .....	95
Figura 6-7. Plantillas PIX4DMAPPER.....	96
Figura 6-8. Recorrido del dron en PIX4DMAPPER.....	98
Figura 6-9. Configuraciones de procesamiento PIX4DMAPPER.....	98
Figura 6-10: Opciones de procesamiento PIX4DMAPPER.....	99
Figura 6-11. Alineamiento y correcciones PIX4DMAPPER.....	100
Figura 6-12. Finalización de alineamiento y corrección PIX4DMAPPER.....	100

Figura 6-13. Colocación de puntos de apoyo en PIX4DMAPPER .....	103
Figura 6-14. Puntos de paso PIX4DMAPPER .....	104
Figura 6-15. Punto de paso PIX4DMAPPER .....	104
Figura 6-16. Selección de un punto en el modelo 3D en PIX4DMAPPER.....	105
Figura 6-17. Punto de paso PIX4DMAPPER .....	106
Figura 6-18. Selección de gestor CPG/MTP PIX4DMAPPER.....	106
Figura 6-19. Gestor CPG/MTP PIX4DMAPPER .....	107
Figura 6-20. Importación de puntos de apoyo PIX4DMAPPER .....	108
Figura 6-21. Se muestra la apariencia del icono “Foco en la selección” en PIX4DMAPPER. ....	109
Figura 6-22. Se muestra el punto “PCF 2” en varias fotografías aéreas pertenecientes al dron. ....	109
Figura 6-23. Colocación de coordenadas para PCF 1 en diferentes fotografías aéreas pertenecientes al dron.....	110
Figura 6-24. Colocación de coordenadas para “PCF 4” en diferentes fotografías aéreas pertenecientes al dron.....	111
Figura 6.25. Colocación de coordenadas para PCF 5 en diferentes tomas aéreas .....	112
Figura 6-26. Colocación de coordenadas para PCF 6 en diferentes tomas aéreas .....	112

Figura 6-27. Reemparejar y optimizar PIX4DMAPPER .....	113
Figura 6-28. Informe de calidad PIX4DMAPPER.....	113
Figura 6-29. Paso 2 PIX4DMAPPER .....	114
Figura 6-30. Opciones de procesamiento PIX4DMAPPER.....	114
Figura 6-31. Clasificación de nube de puntos PIX4DMAPPER.....	115
Figura 6-32. Opciones de procesamiento PIX4DMAPPER.....	116
Figura 6-33. Inicio del paso 2 PIX4DMAPPER .....	117
Figura 6-34. Nube de puntos y malla de triángulos PIX4DMAPPER .....	117
Figura 6-35. Resultado final del procesamiento en el que se presente la ladera inestable total.....	118
Figura 6-36. Diferencias entre procesos .....	119
Figura 6-37. Diferencia entre procesos.....	120
Figura 6-38. MDS, ortomosaico e índices PIX4DMAPPER .....	121
Figura 6-39. Opciones de procesamiento PIX4DMAPPER.....	122
Figura 6-40. Opciones para curvas de nivel PIX4DMAPPER .....	123
Figura 6-41. Inicio paso 3 .....	124
Figura 6-42. Resultados de DSM.....	125
Figura 6-43. Editor de mosaicos. ....	125
Figura 6-44. Modelo digital de superficie. ....	126

Figura 6-45. Modelo digital de terreno .....	126
Figura 6-46. Ortofotografía de la ladera.....	127
Figura 6-47. Mejoramiento de clasificación de nube de puntos .....	128
Figura 6-48. Mejoramiento de clasificación de nube de puntos .....	129
Figura 6-49. Mejoramiento de clasificación de nube de puntos. ....	129
Figura 6-50. Mejoramiento de clasificación de nube de puntos. ....	130
Figura 6-51. Nueva clasificación de grupo de puntos .....	131
Figura 6-52. Seleccionar nombre del proyecto. ....	132
Figura 6-53. Seleccionar Exportación de Nube de Puntos. ....	132
Figura 6-54. Se muestran las carpetas creadas con diferentes fines. ....	133
Figura 6-55. Generación de informe de calidad.....	135
Figura 6-56. Se muestra un resumen obtenido del Informe de calidad de PIX4DMAPPER. ....	136
Figura 6-57. Mapa de superposición de imágenes para cada píxel del ortomosaico. ....	138
Figura 6-58. Correlación entre imágenes y puntos foto identificables.....	140
Figura 6-59. Se presenta el recorrido formando una “Malla” en la que se desplazó el dron.....	142
Figura 6-59. Se muestra la tabla “Results”. ....	144

Figura 6-60. Detalles de geolocalización de puntos.....	144
Figura 6-61. Ventana desplegada que muestra “Planificación y análisis” .....	147
Figura 6-62. Selección de imagen .....	148
Figura 6-63. Ventana emergente en Civil 3D versión Estudiantil, luego de importar la ortofotografía.....	148
Figura 6-64 Ortofotografía superpuesta con los puntos de control fotogramétricos en Civil 3D (Versión Estudiantil).....	149
Figura 6-65. Trazo de la restitución fotogrametrica mediante comando “Polilínea” en Civil3D (Version Estudiantil).....	150
Figura 6-66. Seleecion de coordenadas originales .....	151
Figura 6-67. Construcción del plano topográfico altimetría +planimetría. ....	152
Figura 6-68. Resultado de la superposicion de las curvas de nivel y restitucion fotogrametrica formando el plano topografico caracteristico de un levantamiento topografico. ....	153
Figura 6-69. Puntos de control fotogramétricos (PCF) importados en AutoCAD Civil 3D V.Demo.....	154
Figura 6-70. Puntos de control fotogramétricos y ortomosaico con “Clic” en los puntos para su visualización .....	155
Figura 6-71. Superposición de Puntos de control Fotogramétrico y Ortomosaico. ....	156

Figura 6-72. Longitud de carriles de la carretera sobre el ortomosaico en el que se muestra la calidad de los resultados. ....	157
Figura 6-73. Verificación de longitud sobre el ortomosaico que muestra la calidad de los resultados. ....	157
Figura 6.74 Selección de “Propiedades de superficie” para estudio de ladera	158
Figura 6-75. “Propiedades de Superficie”, selección de “Talud” para pendientes relativas. ....	159
Figura 6-76. Selección del criterio “Talud” para estudio de ladera en el que se presentan los colores asignados para cada rango de pendientes relativas. ...	160
Figura 6-77. Carpetas generas por Pix4DMapper luego de los 3 pasos de procesamiento .....	162
Figura 6-78. Software de uso libre para Sistemas de Información Geográfico. QGis (QGis 3.34-Prizren).....	163
Figura 6- 79. Interfaz del software QGis .....	164
Figura 6-80. Barra de estado donde se puede cambiar El Sistema de Referencias de Coordenadas .....	164
Figura 6-81. Sistemas de Referencias para cambiarlo a SIRGAS ES2007 ....	165
Figura 6-82. Sección de navegación y búsqueda de archivos que se están por utilizar.....	166

Figura 6-83. Vista inicial al tener las tres capas en función y estando activadas (Curvas de nivel, dsm, dtm). .....	167
Figura 6-84. Propiedades de la capa dtm donde se cambiará el tipo de simbología para una mejor representación visual. ....	168
Figura 6-85. Selección de colores para la rampa de colores. ....	169
Figura 6-86. Colores selecciones y posición de relativa de cada uno de los colores seleccionados. Colores seleccionados en esta ocasión: #1704ef, #e31a1c, #00ff15, #f4ff11. ....	169
Figura 6-87. Modelo digital de superficie con una rampa de colores creada y el .shp de las curvas de nivel en él. ....	170
Figura 6-88. Ventana de “Mapa de sobras” donde nos aseguramos de que estemos trabajando con la capa deseada. ....	171
Figura 6-87. Creación de archivo Hillshade y ejecución de este.....	171
Figura 6-88. Mapa de Sobras (Hillshade) creado por medio del Ráster. ....	173
Figura 6-89. Se da la opción de Multiplicar ejecutamos los cambios.....	173
Figura 6-90. Definición de la imagen del modelo digital de superficies y sus respectivas curvas de nivel, una vez hallamos creado un ráster del levantamiento. ....	174

Figura 6-91. Sección del levantamiento con la capa de Street View de fondo para una visión general de dónde en el mundo no se encuentra haciendo el análisis del levantamiento.....	174
Figura 6-92. Instalación del complemento QConsolidate3.....	176
Figura 6-93. Empaquetamiento de proyectos en QGis por medio de QConsolidate3 .....	176
Figura 6-94. Ficheros generados por medio de QConsolidate3 para empaquetamiento de proyectos.....	177
Figura 6-95. Mismo proyecto ejecutado en otro ordenador.....	177
Figura 6-96: Deformación visible del muro de gavión a la orilla de la carretera de Oro.....	179
Figura 6-97. Se muestra recubrimiento de la parte baja del talud utilizando carpeta (plástico negro) y estacas de madera.....	180
Figura 6-98. Se muestra destrucción de estructura de bloques de piedra irregulares, con una apariencia tosca y poco profesional .....	180
Figura 6-99. Se muestran elementos relacionados con la escorrentía pluvial del talud.....	182
Figura 6-100. Se muestra el escarpe cercano a la corona del talud, fotografía aérea tomada por el dron mientras ejecutaba el plan de vuelo. ....	183

Figura 6-101. Se muestra el escarpe cercano a la corona del talud, fotografía aérea tomada por el dron mientras ejecutaba el plan de vuelo. ....	183
Figura 6-102. Se muestra sedimentación acumulada, la presencia de vegetación indica en ella indica que lleva varios días. ....	184
Figura 6-103. Se muestra acumulación de sedimentación que, por su aspecto, parece ser muy reciente. ....	185
Figura 6-104. Se muestra parte de la corona del talud con presencia de desechos solidos.....	185
Figura 6-105. Fotografía aérea tomada por el dron mientras realizaba el plan de vuelo en el que se muestran fisuras de considerable tamaño y profundidad cercanas a la corona del talud. ....	186
Figura 6-106. Se muestra una fisura considerable encontrada en la corona del muro de gavión. ....	187
Figura 6-107. Se muestran diferentes perfiles perfiles, separados por 20 mts entre sí, sobre el área del levantamiento topográfico.....	188
Figura 6-108. Se muestra diferentes perfiles simultáneos en donde se observa las coincidencias entre sí.....	189
Figura 6-109. Se muestra el perfil definitivo del talud. ....	190

Figura 6-110. Se muestra análisis de perfil utilizando AutoCAD 3D (Versión estudiantil) seleccionando dos puntos, uno al pie y otro en la corona del talud.  
..... 190

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1. Volcanes en el territorio salvadoreño con erupciones conocidas. ....	18
Tabla 3-1. Algunos elipsoides de referencia.....	31
Tabla 5-1. Coordenadas obtenidas RTK NTRIP .....	67

## **INTRODUCCIÓN**

El Salvador es un país que suele ser azotado por diferentes desastres naturales, por ello es necesario prevenir y contener todas aquellas amenazas que pongan en riesgo la vida de la población. Las medidas de contención contemplan cierta preparación para aquellos que deseen implementarlas a través de recursos académicos, económicos y sociales que permitan el trabajo colectivo para afrontar las adversidades.

Los deslaves y movimientos de laderas constituyen un peligro común dentro del país, y requieren de procedimientos más actualizados y eficaces para una toma de decisiones rápida y concisa. En este proyecto se evidencia la rapidez y eficacia del uso de la fotogrametría con dron, acompañado del equipo GPS, para realizar un levantamiento topográfico de una zona de difícil acceso, en la que se observa una ladera inestable. Esta se encuentra ubicada en el kilómetro 18.5 en Carretera de Oro, San Salvador Centro, San Salvador.

Utilizando los fundamentos de geodesia, topografía y con las técnicas de medición satelital y fotogrametría con dron, es posible dar respuesta a los diferentes retos que se presentan en el país. Son la comunicación, la información, la velocidad y sobre todo la precisión de los resultados las características claves en este tipo de proyectos que brindarán alivio a los diversos problemas del campo de la ingeniería civil.

## **CAPÍTULO I: GENERALIDADES**

### **1.1 Antecedentes.**

La naturaleza en la que se encuentra el Área Metropolitana de San Salvador (AMSS), en su mayoría presenta un origen altamente volcánico, con capas espesas formadas a partir de las erupciones del volcán de San Salvador y de una parte de la caldera del Lago de Ilopango a comienzos del Pleistoceno, es por ello que estos suelos desde un enfoque geológico son relativamente jóvenes, datan de aproximadamente unos diez mil años hasta la actualidad, la presencia de escoria y ceniza volcánica con partes de estratos de tierra blanca, limos, arenas limosas, limos arenosos, son ejemplos presentes en todo el territorio nacional.

También tenemos materiales pumíticos, presencia de rocas sólidas y fragmentadas, tobas fundidas, pómez y sedimentos lacustres. Esta combinación de materiales geológicos incrementa la vulnerabilidad debido a que estos suelos y el material que los componen provocan una condición de baja estabilidad.

El Salvador también es partícipe de una serie de eventos climatológicos en su mayoría concernientes a las lluvias torrenciales y precipitaciones esporádicas, esto es debido a la influencia directa de la Zona de Convergencia Intertropical, y el calentamiento global, que propician las condiciones para tener un país con climas calientes y climas húmedos, esta dinámica climatológica modifica constantemente la superficie de los suelos y, por tanto, se empiezan a generar

suelos muy sueltos o suelos sedimentosos con características que contribuyen a los deslizamientos de tierra, erosión y saturación de agua en los suelos.

Además, El Salvador se encuentra en una región con una alta sismicidad, entre los factores geológicos que originan esta actividad se encuentran, la zona de subducción de la placa de Cocos y del Caribe, fallas geológicas locales, y la cadena volcánica en el cinturón de fuego del Pacífico entre otros, por lo que se originan sismos recurrentes, y en los últimos años hemos tenido la presencia de enjambres sísmicos bastante significativos un ejemplo de ello es el enjambre sísmico ocurrido en el año 2017 en Antigua Cuscatlán municipio de La Libertad Este.

Entre los factores de origen social y económico es frecuente que en El Salvador, la falta de una oportunidad para adquirir una vivienda digna fomente la formación de caminos irregulares y áreas en las que no existe una canalización de agua adecuada, esto permitan la alteración del medio circundante sin una visión ecológica y sostenible además de que contribuyen significativamente a deslizamientos y desprendimientos de rocas.

Los fenómenos de laderas son causados por muchos factores, como son la gravedad, la geología del suelo, el clima, la actividad sísmica y la actividad humana recurrente, como se mencionó anteriormente. La inestabilidad de las laderas en el AMSS ha producido resultados negativos para la población, sobre todo en la Carretera Panamericana tramo los Chorros, Carretera Troncal del

Norte, entre Tejutla y La Palma, Carretera de Santa Tecla al Puerto de La Libertad y Carretera de Oro entre Apopa y Soyapango, y otros en distintos lugares del País

En la Carretera de Oro, una ladera ha presentado deslizamientos y desprendimientos de grandes volúmenes de tierra. Se empezaron las obras de protección en el año 2016, posteriormente presentó más desprendimientos y deslizamientos, por lo que nuevamente fue intervenido. Sus efectos han provocado como consecuencia el total o parcial recubrimiento de los dos carriles de dicha carretera, sin embargo, estas medidas no han sido eficaces, cerca de esta ladera se encuentra una zona rural en la que viven algunas familias, este sitio es conocido como el mirador "La Barranquilla ", hasta ahora, el último suceso de desprendimiento de talud sucedió en mayo del año 2024 en las cercanías al sitio de estudio de esta ladera.

Debido a la naturaleza incierta de la ladera, y la presencia de accesos muy difíciles para realizar inspecciones o estudios técnicos como puede ser un levantamiento topográfico, los métodos tradicionales de topografía no son viables, es así como con el uso de drones, se puede realizar este tipo un levantamiento topográfico adecuado y sin riesgo para el personal profesional, superando a si la dificultad que se nos presenta, el dron proporcionará un buen número de fotografías áreas, junto con la georreferenciación con equipo GPS

produciendo un resultado satisfactorio en estas condiciones y su aplicación directa en proyectos de ingeniería Civil.

Con estos procedimientos de obtención de datos se pueden construir resultados diversos, relacionados con información geoespacial, como ortomosaicos, modelos digitales de superficie, modelos digitales de terreno, y curvas de nivel, también con programas adecuados determinar volúmenes de tierra, construcción de simulaciones en 3D, producción de planos temáticos como pendientes relativas, microcuencas, o de elevaciones generalmente para planificación, diseños de infraestructuras y/o toma de decisiones en proyectos multidisciplinarios.

## **1.2 Planteamiento del problema.**

Los desprendimientos de tierra o deslizamientos de tierra son uno de los fenómenos naturales más comunes que ocurren en taludes y laderas. Esto se debe a que estos terrenos son expuestos a la erosión natural. El agua y el viento actúan sobre la superficie del terreno, arrastrando las partículas del suelo, hasta que el terreno se vuelve inestable y representa un riesgo mayor, que podría ocasionar tragedias para la población salvadoreña, también cabe señalar que la actividad humana y la influencia indirecta de la destrucción de la vegetación contribuyen de una u otra manera.

En El Salvador a lo largo de los años, ha aumentado la demanda del uso de transporte propio, lo cual da como resultado la necesidad de crear carreteras que

permitan mejorar el flujo del tráfico, sin embargo, muchas veces estas carreteras pasan por lugares en donde se encuentran tramos de tierra que presentan baja estabilidad al momento de construir, pero al transcurrir los años la naturaleza reclama lo que le pertenece, dando como resultado que esos tramos de tierra presenten más inestabilidad y, por tanto, un riesgo latente para las personas que transitan en dicha zona.

En el departamento de San Salvador, municipio de San Salvador Centro, en la carretera de Oro, se puede apreciar una ladera cerca del mirador llamado “La Barranquilla”, la cual ha sufrido desprendimientos de tierra, dando como resultado una falla en la obra de mitigación destinada evitar estos fenómenos, la cual fue un muro de gavión y un inadecuado flujo de agua pluvial, con el tiempo este muro cedió. En la zona, a simple vista y con una inspección de campo rápida a su alrededor, se puede apreciar que la zona es altamente propensa a una tragedia natural, por lo cual es necesario intervenir lo antes posible.

Para poder abordar el área de estudio es necesario contar con datos topográficos actualizados de la zona, los cuales no son fáciles de obtener debido al riesgo realizar mediciones en esa zona, sin embargo, la ingeniería civil día a día ha evolucionado en sus distintas ramas, siendo una de ellas la topografía mediante fotogrametría con dron y georreferenciación con GPS.

El uso de drones para topografía es una práctica más sencilla y eficiente en lugares donde se presenta un riesgo natural para las personas que llevan a cabo

el estudio, con un plan de vuelo fotogramétrico y un procesamiento de datos correcto y eficiente mediante software especializados permite obtener los resultados para poder estudiar la inestabilidad de una ladera desde diferentes enfoques, entre ellos la ingeniería Civil.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo General.**

Realizar un levantamiento topográfico de una ladera inestable mediante fotogrametría con dron y equipo GPS de doble frecuencia vinculado a un sistema de información geográfica y al sistema de referencia geodésico Lambert SIRGAS ES-2007 en la Carretera de Oro, km 18.5, departamento de San Salvador, municipio de San Salvador Centro.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos.**

- Planificar el levantamiento topográfico mediante una inspección de campo, en la cual se identifique la cobertura para los equipos a utilizar y la ubicación estratégica de los puntos de control fotogramétricos.
- Procesar datos obtenidos por medio del dron utilizando el software Pix4Dmapper (Versión de Prueba).
- Realizar georreferenciación utilizando equipo GPS de doble frecuencia mediante la técnica RTK NTRIP.

- Obtener información física y digital relevante de la zona con fines académicos, investigativos e ingenieriles, incluyendo ortomosaicos, curvas de nivel, modelos digitales de elevación y modelos digitales de superficies.
- Realizar restitución fotogramétrica del levantamiento realizado en AutoCAD Civil3D (Versión Estudiantil).
- Elaborar un plano topográfico de la zona (Planimetría y Altimetría simultáneas).
- Elaborar planos temáticos a partir curvas de nivel utilizando AutoCAD Civil 3D (Versión Estudiantil) como complemento enriquecedor al levantamiento topográfico para diferentes usos en Ingeniería Civil u otras ramas afines.
- Integrar el levantamiento topográfico en un Sistema de Información Geográfica (SIG), mediante el software QGIS de código abierto.
- Proponer sugerencias preliminares para la estabilización de la ladera.

#### **1.4 Alcances.**

Los procedimientos para la obtención de datos topográficos serán visitas de campo planificadas para reconocimiento, y ejecución del levantamiento topográfico, posteriormente, un procesamiento en software o actividades de gabinete, investigación bibliográfica, así como recomendaciones de profesionales en esta área.

Para asegurar la precisión y la utilidad de los datos obtenidos, se diseñará un plan de vuelo adecuado a las exigencias del área a levantar, para ello se utilizará vehículo aéreo no tripulado (comúnmente conocido como dron) y equipo GPS de doble frecuencia, la colocación de puntos de control calculados con técnicas de medición satelital para la georreferenciación y mediciones estratégicas en campo con cinta métrica como control de calidad con el que se comprueben los resultados obtenidos.

El levantamiento topográfico se realizará en un área que colinda al oriente con un tramo de la Carretera de Oro, a la altura del Kilómetro 18.5, y al poniente con un mirador conocido como “La Barranquilla “y viviendas rurales establecidas, esta área se encuentra ubicada en la Carretera de Oro km 18.5, departamento de San Salvador, municipio de San Salvador Centro, El Salvador.

Los resultados de esta investigación serán: área topográfica, curvas de nivel, perímetro, modelo digital de terreno, modelo digital de superficie, imagen aérea precisa (ortomosaico), nube de puntos tridimensional, plano topográfico general,

planos temáticos en función de un criterio como puede ser: elevaciones, pendientes relativas y para estudios hidrológicos.

Esta investigación se realizará con objetividad, con el máximo profesionalismo para que sirva de preámbulo en estudios más profundos y de utilidad para las ramas relacionadas con la ingeniería en las que la obtención de datos topográficos sea importante.

### **1.5 Limitaciones.**

- El levantamiento topográfico se realiza exclusivamente en la zona que encierra la totalidad de la ladera, excluyendo otros terrenos que pueden estar relacionados con la inestabilidad o la evolución de la ladera.
- La potencia del equipo utilizado para el procesamiento de datos no es suficiente para obtener todos los resultados posibles del levantamiento topográfico debido a sus altos requisitos de rendimiento, por lo que se optó por procesar la información exclusivamente necesaria.
- Las versiones de prueba y/o estudiantiles de los software utilizados no permiten extraer más datos importantes, por lo que se trabajó con los datos que ofrece cada uno en su distinta versión.

## **1.6 Justificación.**

A lo largo de los años, El Salvador ha presenciado muchos desastres naturales que dejan afectaciones físicas, económicas e incluso vidas humanas, al igual que en muchos otros países. A pesar del esfuerzo conjunto realizado para prevenir las consecuencias de diversas catástrofes, aún queda mucho trabajo por hacer.

En el presente trabajo se busca proveer de información geoespacial, acerca del peligro inminente que representa la ladera con un mirador conocido como “La Barranquilla”, ubicada en el kilómetro 18.5 de la Carretera de Oro, en el departamento de San Salvador. Mediante el levantamiento topográfico con drones y equipo GPS de doble frecuencia, se obtendrán resultados con alta precisión que permitirán proyectar nuevos estudios multidisciplinarios, entre otras actividades académicas y técnicas.

Además, las obras de protección y mitigación que se han construido están en una fase crítica, el muro de gaviones cedió y el sistema de drenaje presenta un flujo de agua inadecuado, se corre riesgo de que, en un acontecimiento natural como sismos considerables o acumulación de agua por lluvias, se deslave e invada nuevamente ambos carriles de la Carretera de Oro, lo que generaría problemas de tránsito vial para los salvadoreños, además dicha ladera se encuentra en una carretera de fuerte del transporte de carga y mercancías.

Los resultados obtenidos permitirán la toma de decisiones más rápida y eficaz, puesto que el dron y el uso de equipo GPS, permiten realizar el levantamiento

topográfico desde una determinada altura lo que permite recolectar información de lugares a los que comúnmente serían considerados inaccesibles y de alta peligrosidad para los profesionales y técnicos que requieran realizar otros estudios más profundos.

El levantamiento topográfico a través del uso del dron no solo tiene como objetivo representar la eficacia de dicho método en comparación con el uso de aparatos más tradicionales como la estación total, sino también fomentar su uso y confiabilidad a otros profesionales a realizar trabajos similares para el estudio multidisciplinario con enfoque en mitigación de desastres dentro y/o fuera del territorio salvadoreño.

Los resultados de esta investigación serán compartidos mediante un Sistema de Información Geográfica para que las instituciones gubernamentales y las personas interesadas, puedan utilizarlo como un insumo preliminar en el estudio de laderas inestables y su relación con el medio ambiente de El Salvador.

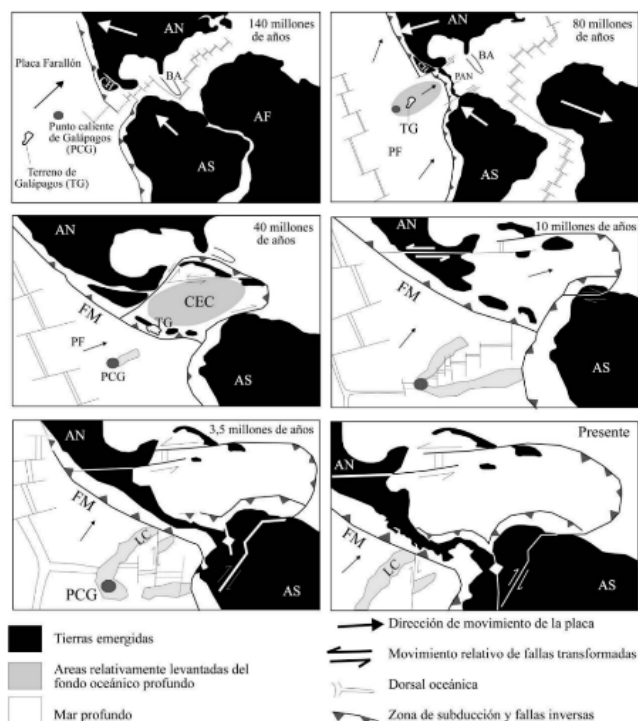
## **CAPÍTULO 2: FUNDAMENTOS GEOLÓGICOS**

### **2. Antecedentes Históricos.**

#### **2.1 Formación geológica de El Salvador.**

Hasta el Período Jurásico estas dos masas continentales estaban separadas a través de un Océano, fue en este período, entre el fin de la era del Mesozoico en el Cretácico Superior y el inicio del Cenozoico en el período Terciario, la placa Farallón se desplazaba al noreste, subduciéndose al borde occidental de ambas masas continentales (América del Norte y América del Sur) este movimiento generaba un desplazamiento de rocas y sedimentaciones se generaban a grandes profundidades.

Finalizando el Cretácico Superior un puente se genera entre las dos grandes masas continentales, estas masas que con el tiempo se convertirían en los que se conocen como las Antillas, estas islas que se encuentran al norte de Centro América, este puente de comunicación finaliza al final del Cretácico.



**Figura 2-1. Evolución geotectónica de América Central**  
**Fuente: CH: Bloque Chortis, PAN: ProtoAntillas, CEC: Corteza engrosada del Caribe, FM: Fosa Mesoamericana, LC. Levantamiento**

**del Coco, AN: América del Norte, AS: América del Sur, PF: Placa Farallón, PCG: Punto caliente de Galápagos, TG: Terreno geológico, BA: Plataforma de Bahamas. Modificado de Denyer et al. 2003 y basado principalmente en: Di Marco (1994), Duncan & Hargraves (1984) y Pindell & Barret (1990).**

No es hasta el Plioceno que la fuerte actividad volcánica, junto con la colmatación de las cuencas sedimentarias y la tectónica, provocan el cierre definitivo del puente de América Central, hace unos 3,5 millones de años. Esto responde a la pregunta geológica, El Salvador “nace” de forma geológica en el Plioceno, al menos en unas tres cuartas partes, y es en el Pleistoceno donde este termina de formarse en la que actualmente la conocemos.

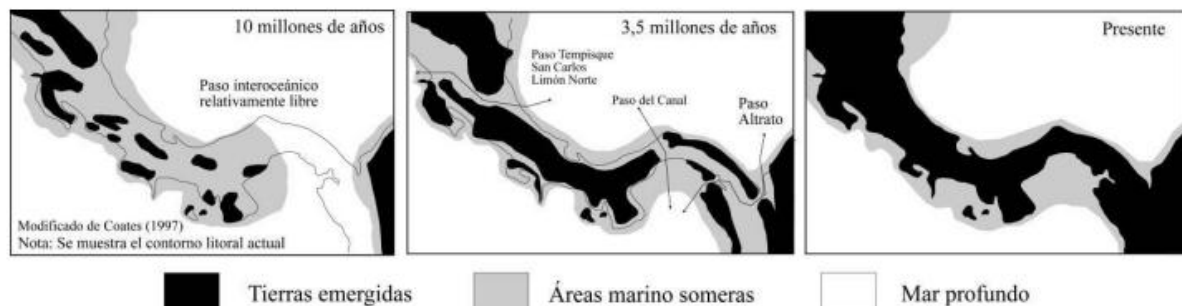


Figura 2-2 Cierre del istmo centroamericano.

Fuente: GEOLOGÍA Y GEOTECTÓNICA DE AMÉRICA CENTRAL Y EL CARIBE; Modificado de Coates (1997).

A partir de este momento, el intercambio biótico de animales y plantas continentales se establece en forma cada vez más completa y adquiere una magnitud intercontinental. El tránsito continuo entre Norte y Sur América fue parcialmente controlado por las diferencias topográficas y climáticas que generaron un filtro biogeográfico. Desde el momento en que se cierra el istmo centroamericano se produce un cambio drástico en el régimen de corrientes mundial. Fenómenos tales como la corriente del niño, no eran posibles cuando el paso marino era continuo entre el actual Pacífico, el Caribe y el Atlántico

Actualmente, la formación y evolución geológica de Centroamérica está ligada al tectonismo de las placas norteamericana, Nazca, Cocos y Caribe y la microplaca de Panamá; principalmente porque la placa oceánica de Cocos se hunde (subduce) por debajo de las placas continentales norteamericana, del Caribe y el

bloque de Panamá. América central es una gran línea de debilidad tectónica de la corteza exterior terrestre.

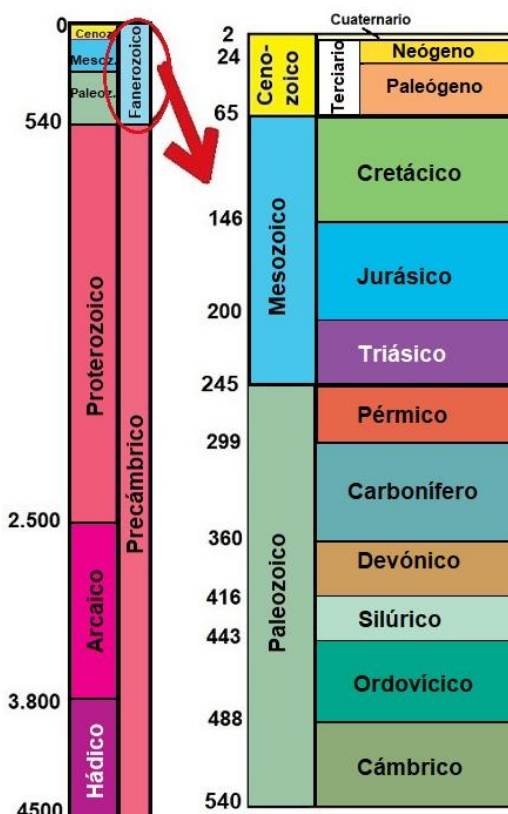


Figura 2-3 Se muestra una escala cronoestratigráfica sobre la evolución de la tierra.

Fuente: [https://edeja.juntadeandalucia.es/bancorecursos/file/8b0d0623-7a85-45c0-bc88-6c4a91c6de4a/1/es-an\\_2019062512\\_9093649.zip/51\\_la\\_medida\\_del\\_tiempo\\_con\\_unidades\\_geocronologicas.html?temp.hn=true&temp.hb=true](https://edeja.juntadeandalucia.es/bancorecursos/file/8b0d0623-7a85-45c0-bc88-6c4a91c6de4a/1/es-an_2019062512_9093649.zip/51_la_medida_del_tiempo_con_unidades_geocronologicas.html?temp.hn=true&temp.hb=true)

## 2.2 Morfología de El Salvador.

### 2.2.1 Aspectos generales de la vulcanología de El Salvador.

La existencia de lo que ahora se conoce como El Salvador responde a un volcanismo intenso desde el Terciario y esto como respuesta un país en abundante material volcánico que en porcentaje puede llegar a rondar el 90%, un

comportamiento que con el paso del tiempo ha decaído, pero esto no hace que el país deje de ser un territorio con volcánicamente muy activos.

El Ministerio de Medio Ambiente (MARN), con bases a sus investigaciones y el criterio que ellos contemplan para determinar lo que se considera un volcán activo fue así como ellos consideraron que en El Salvador existen 23 volcanes individuales y se identificaron cinco campos volcánicos con antecedentes sísmicos que agrupan estructuras volcánicas y lagos cratéricos. En la actualidad, solo algunos volcanes presentan actividad continuada (emisión de gases y excepcionalmente de cenizas) como son el volcán de Santa Ana, el Volcán de San Salvador, el Volcán de San Miguel y el volcán de Izalco, aunque no se puede descartar la reactivación de algunos volcanes con actividad en el pasado.

No.	Nombre del volcán	Altura msnm	Tipo de volcán	Tipo de roca predominante	Localización	Última erupción
1	Santa Ana	2,382	Estrato volcán	Basalto de olivino y piroxeno	Santa Ana	2005
2	Izalco	1965	estrato volcán	Basalto de olivino y augita	Sonsonate	1966
3	San Marcelino	1480	Cono de escorias	Basalto de olivino y augita	Sonsonate	1722
4	San Salvador	1867	Estrato volcán	Basalto y Andesita	San Salvador	1917
5	El Playón	660	Cono de escorias	Basalto de olivino y augita	San Salvador	1658-1659
6	Islas Quemadas	450	Domo de lava	Dacita y Hornblenda	San Salvador	1879-1880
	Volcán Ilopango	438	Caldera	Dacita, Pómez		429 DC
7	San Miguel	2130	Estrato volcán	Basalto de olivino y augita	San Miguel	1976
8	Conchagüita	550	Estrato volcán	Basalto	Isla del Golfo de Fonseca	1892

**Tabla 2-1. Volcanes en el territorio salvadoreño con erupciones conocidas.**

Fuente. <https://www.snet.gob.sv/ver/vulcanologia/volcanes+de+el+salvador/volcanes+activos/>

Según el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales en su apartado del Atlas de la Vulcanología de El Salvador, la clasificación de un volcán como activo responde ha evidencia de que este a erupcionado en los últimos 11,700 años y que esta muestra actividad registrada por los instrumentos de monitoreo, considerando que se trata de una a escala de tiempo geológica. Al tratarse de tiempos geológicos, se puede retomar el estudio que se realizó en 1967 y 1977 donde una expedición alemana de expertos geólogos indicó que en el país se

encuentran al menos 700 volcanes con evidencia que remonta a sus primeras erupciones hasta hace 2 millones de años atrás.

En la región de América Central, la placa de Cocos subduce a más de 100 km de profundidad debajo de la placa del Caribe. A esta profundidad, a nivel de la astenosfera, las altas presiones y temperaturas fusionan la roca formando magma. El magma, así formado, asciende a través de fallas o fracturas hasta alcanzar la superficie terrestre, donde se producen las erupciones volcánicas formando diferentes tipos de volcanes que forman el Arco volcánico continental de América Central.

Por su parte, la placa del Caribe, al estar sometida a presión por el empuje de la Placa de Cocos, responde a esta presión fracturándose. Algunas de estas fracturas son aprovechadas por el magma para su ascenso y salida hasta la superficie terrestre, generando erupciones hasta formar edificios volcánicos de diferente tipo y estilo eruptivo. Se puede concluir que en América Central y, por lo tanto, en El Salvador, la causa de la actividad sísmica y volcánica es la subducción entre las placas de Cocos y la del Caribe.

El Salvador, como parte del anillo de fuego del Pacífico es influenciado por la subducción de las placas antes mencionadas, experimentando a lo largo del tiempo diferentes fenómenos: por un lado, una intensa actividad sísmica y, por el otro, una intensa actividad volcánica.

El proceso de subducción entre estas placas tectónicas no es un proceso que ha ocurrido durante los últimos siglos, sino que lleva millones de años produciéndose, por lo que antes de los volcanes que conocemos hoy en día, ya existían otros que ya solo constituyen ruinas geológicas. Prácticamente, todo el subsuelo del país (más de un 90%) está formado por rocas de origen magmático. Por ejemplo, en los valles centrales y la Cordillera Norte, se encuentran volcanes como el Cacahuatique, en Morazán; y Guazapa, en el departamento de San Salvador, que los geólogos han identificado como volcanes extintos o apagados

### **2.2.2 Aspectos generales de la sismología de El Salvador.**

El Salvador se encuentra en una región de intensa actividad sísmica, generada por el proceso de subducción de la placa de Cocos bajo la placa del Caribe y así como la activación de las fallas geológicas, tanto locales como de los países vecinos Guatemala y Honduras. Lo anterior requiere que se lleve a cabo una constante vigilancia de tal fenómeno, con el propósito de interpretar el mecanismo de generación de dicha actividad sísmica y poder mitigar así los efectos por ella causados.

De esta manera se establecen las principales causas de la actividad sísmica en el Salvador.

1. La cadena volcánica, que forma parte del cinturón de fuego del Pacífico y corre a lo largo del territorio.

2. Un sistema de fallas geológicas con una dirección predominante noroeste-sureste dentro del territorio salvadoreño.
3. El proceso de subducción entre las placas tectónicas de Cocos y del Caribe, cuyo movimiento relativo, origina sismos cercanos a las costas salvadoreñas.
4. Un sistema de fallas geológicas en Guatemala que define la frontera entre la placa de Norteamérica y la placa del Caribe.
5. Un sistema de fallas geológicas con dirección norte-sur, ubicado en la depresión de Honduras.

A los sismos generados por las fuentes 1 y 2 se denominan: sismos locales, estos generalmente ocurren a profundidades menores a 30 kilómetros y han sido los que han causado mayor destrucción en El Salvador. Entre los sismos locales más destructivos se pueden mencionar: Jucuapa-Chinameca el 6 de mayo de 1951; San Salvador el 3 de mayo de 1965; San Salvador el 10 de octubre de 1986 y a todo el territorio de El Salvador el 13 de febrero de 2001.

Los estudios sismológicos en El Salvador se iniciaron el 25 de octubre de 1890, al establecerse por decreto la creación del Observatorio Astronómico y Meteorológico. Un hecho aún más significativo fue la fundación del Observatorio Sismológico Nacional el 25 de febrero de 1918.

Con la llegada del sismólogo alemán, Dr. Rudolf Schulz en 1953, los estudios sismológicos en El Salvador dieron inicio de manera sistemática, no obstante de haber existido instrumentación sísmica desde 1896. Cabe mencionar que se cuenta con información sísmica analógica desde 1952.

### **2.2.3 Antecedentes de la zona de la ladera conocida como mirador “La barranquilla”.**

En enero del 2016, de manera oficial dieron por finalizada la ejecución de las obras de mitigación en dicha zona. Según el mismo Ministerio de Obras Públicas (MOP), esta obra consistió en:

- Construcción de drenajes horizontales
- Construcción de muro de gavión que considera la remoción de 7,500 metros cúbicos de tierra
- Siembra de grama y otra cobertura vegetal al pie de la ladera
- Impermeabilización de la corona a través de la colocación de repello y suelo cemento
- Drenajes en el cuerpo de la masa desconformada

El MOP explicó que los trabajos de drenajes horizontales contemplaron la instalación de 10 tuberías de PVC, en una longitud que varía entre los 60 y 10 metros de longitud. El agua captada por este sistema la evacuarían por las obras de drenaje superficial que se encuentran en el lugar.

Al momento de realizar la inspección del lugar se encuentra que dicha zona no está en las condiciones más óptimas, donde se observa que la obra el muro gavión no fue capaz de mantener su funcionalidad de manera eficiente y segura, la peligrosidad que representa el muro de gavión se encuentra afuera de este apartado, ya que estas pueden ir desde climatológicas, humanas, diseño, etc. Indistintamente de del porqué se llegó hasta ese punto, a 2024 este muro gavión genera una potencial situación de peligro para toda aquella persona que hace su recorrido sobre la carretera.

Esta obra de mitigación no ha sido capaz de generar una seguridad tanto para el transeúnte, el conductor y las personas que viven en la corona de la ladera, cada año el gavión va generando un pandeo donde el suelo que se desliza va empujando al gavión al sentido de la carretera, además que los canales de las aguas lluvias donde la escorrentía superficial debe fluir para ser evacuadas de forma correcta está tapada, otro de los problemas que se pudieron llegar a detectar por medio de la observación y el conocimiento

empírico, es la poca cantidad de tuberías y el diámetro de las mismas para la evacuación de las aguas lluvias hacia el cordón cuneta de la carretera.



Figura 2-4. Deformación de muro de gavión sobre Carretera de Oro, kilómetro 18.5.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 2-5. Condición actual de la ladera y canaleta de aguas lluvias en la parte alta del muro de gavión

Fuente: Elaboración propia



**Figura 2-6. Condición actual sobre la corona de la ladera en la que se observa vegetación muy superficial.**  
Fuente. Elaboración propia



**Figura 2-7. Vista panorámica de la ladera desde abajo hacia arriba y el mirador "Barranquilla".**  
Fuente. Elaboración propia

## **CAPÍTULO 3: FUNDAMENTOS DE GEODESIA**

Geodesia proviene del griego “gêodaisia” (geo que significa tierra y daien que significa dividir), que en su unión significa “dividir la tierra.” La geodesia es la ciencia que estudia de forma matemática la forma y las dimensiones terrestres. Esto incluye la determinación del campo gravitatorio externo de la tierra, la superficie del fondo oceánico y la orientación y posición de la tierra en el espacio.

Uno de sus principales objetivos, es la determinación de la posición de puntos sobre la superficie terrestre a través de coordenadas planas (latitud, longitud) y elevación (altura). La materialización de estos puntos constituye lo que se denomina “redes geodésicas”, las cuales se conforman por vértices geodésicos con coordenadas conocidas según un sistema de referencia específico que constituyen la base geográfica de un territorio.

### **3.1 Antecedentes.**

Las antiguas civilizaciones sostenían ideas similares sobre la forma del mundo, pero todos concordaban en que la tierra era plana. Estas ideas estaban generalmente atadas a su cosmovisión y algunos ejemplos son:

- Mesopotamia: La tierra es un disco sólido formado por montañas, valles, ríos y lagos; la parte superior es el cielo que posee una bóveda de material duro.



Figura 3-1. Cosmovisión mesopotámica.

Fuente: [https://es.wikipedia.org/wiki/Mitología\\_de\\_Mesopotamia](https://es.wikipedia.org/wiki/Mitología_de_Mesopotamia)

- **Grecia:** Mediante los conocimientos babilonios y egipcios, se propuso un modelo donde la tierra era una especie de isla flotante en forma de disco que flotaba sobre un océano.

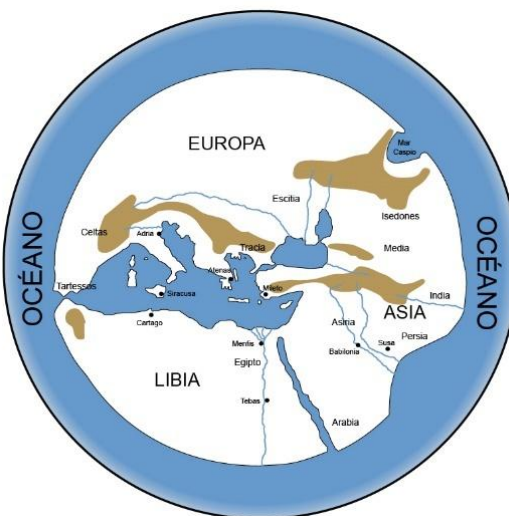


Figura 3-2. Visión griega del mundo.

Fuente: <https://museovirtual.csic.es/salas/universo/universo2.htm>

- **Antiguo Egipto:** El cielo estaba constituido por el vientre de la diosa Nunut o Nut, que se arqueaba sobre la tierra plana encarnada por el dios Geb,

cuyo centro era el País de las Dos Tierras, mientras que el dios Shu, que simboliza el aire, separaba a la bóveda celeste de la tierra.

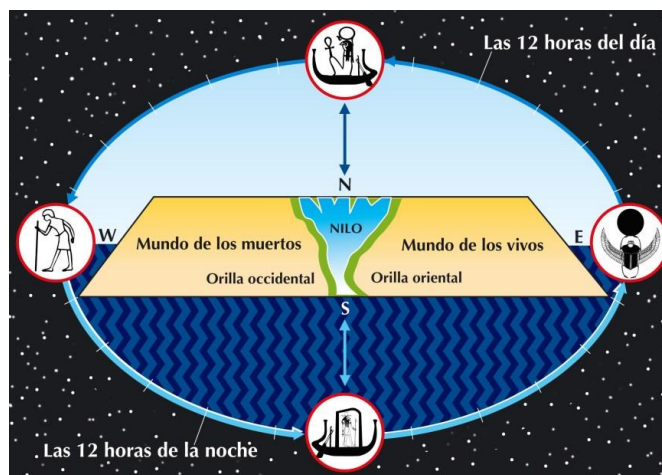


Figura 3-3. Cosmovisión egipcia.

Fuente: <https://www.mundosophia.com/la-cosmovision-magica-de-los-antiguos-egipcios/>

Eratóstenes de Cirene fue un polímata griega que midió por primera vez la circunferencia de la Tierra en el siglo III a.C. Descubrió que en un templo en la ciudad de Asuán con columnas y un pozo, estas no daban sombra y el sol caía directo sobre el pozo al mediodía de un 21 de junio, pero en la ciudad de Alejandría si colocaba una vara clava en el suelo al mediodía de un 21 de junio, se formaba una sombra considerable. De esta forma planteó la idea de que, en un mundo plano, la sombra de los objetos debería ser igual en el mismo día y a la misma hora por lo que al comprobarse que no es así, concluyó que si los rayos del sol eran paralelos como indicaba la distancia entre las dos ciudades, la Tierra debía ser curva.

### 3.2 Geoide.

El geoide es una superficie equipotencial del campo gravitacional del planeta. El geoide es aproximadamente igual al nivel medio del mar (MSL) y generalmente, difiere del nivel medio del mar local en aproximadamente un metro. Mantiene una forma casi esférica, experimentando un leve achatamiento en sus extremos que se debe a la gravedad y la fuerza centrífuga, derivada del movimiento rotacional del planeta.

La composición del planeta afecta al geoide, por lo que puede haber discontinuidades en su pendiente. Esto significa que es una superficie analítica y no una matemática como un elipsoide.



Figura 3-4. Geoide.

Fuente: <https://djiarsmadrid.com/es/blog/dji-news/geoide-vs-elipsoide-cual-es-la-diferencia-y-por-que-es-importante>

### 3.3 Elipsoide de referencia.

A diferencia del geoide, un elipsoide es en esencia una esfera imperfecta. Cualquier plano transversal del elipsoide debe seguir siendo una elipse o un círculo a pesar de sus diferencias en longitud, anchura y altura.

Esto se explica a través de una ecuación matemática que tiene en cuenta 3 ejes perpendiculares diferentes que todos se cruzan en el centro de la forma:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1$$

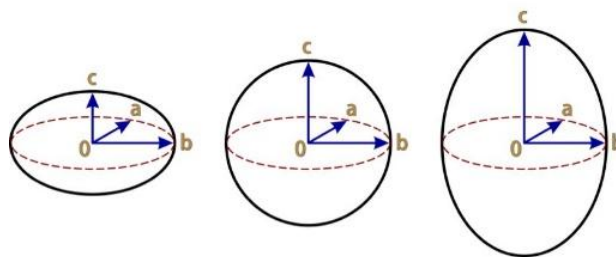


Figura 3-5. Diferentes formas geométricas y sus ejes.

Fuente: <https://djiarsmadrid.com/es/blog/dji-news/geoide-vs-elipsoide-cual-es-la-diferencia-y-por-que-es-importante>

Científicos y matemáticos utilizan el modelo elipsoide para definir con mayor precisión la forma de la Tierra y otros planetas. Un elipsoide que ofrece una aproximación cercana de un planeta se conoce como elipsoide de referencia.

Un elipsoide viene definido por dos parámetros: semieje mayor y semieje menor. La relación existente entre estas dos medidas define el grado de achatamiento del elipsoide

$$f = \frac{a - b}{a}$$

Donde *a*: Semieje mayor

*b*: Semieje menor

El elipsoide es la forma geométrica que mejor se adapta a la forma real de la Tierra y la que mejor permite idealizarla. Debido a las diferencias históricas, culturales y tecnológicas alrededor del mundo, se han obtenido diferentes elipsoides de referencia a lo largo del tiempo, dependiendo de los esfuerzos logrados en diversas regiones del mundo. Algunos de estos elipsoides son:

Elipsoide	Semieje mayor	Semieje menor	$\frac{1}{f}$
Australian National	6378160.000	6356774.719	298.250000
Bessel 1841	6377397.155	6356078.963	299.152813
Clarke 1866	6378206.400	6356583.800	294.978698
Clarke 1880	6378249.145	6356514.870	293.465000
Everest 1956	6377301.243	6356100.228	300.801700
Fischer 1968	6378150.000	6356768.337	298.300000
GRS 1980	6378137.000	6356752.314	298.257222
International 1924 (Hayford)	6378388.000	6356911.946	297.000000
SGS 85	6378136.000	6356751.302	298.257000
South American 1969	6378160.000	6356774.719	298.250000
WGS 72	6378135.000	6356750.520	298.260000
WGS 84	6378137.000	6356752.314	298.257224

**Tabla 3-1. Algunos elipsoides de referencia.**

Fuente: [https://volaya.github.io/libro-sig/chapters/Fundamentos\\_cartograficos.html](https://volaya.github.io/libro-sig/chapters/Fundamentos_cartograficos.html)

En los últimos años, ha surgido la necesidad de trabajar con un elipsoide de referencia global a manera de homogeneizar el uso de elipsoides de referencia y facilitar el uso de la cartografía, entre otras cosas, en distintas zonas del planeta. Los elipsoides globales o generales buscan que el centro de gravedad terrestre y el elipsoide coincidan, al igual que el plano ecuatorial terrestre y el del elipsoide. El elipsoide WGS84 es uno de los más empleados en la actualidad, ya que es el utilizado por el sistema GPS.

### 3.4 Elipsoide vs Geoide.

Para mantener la precisión en un trabajo topográfico, es necesario asegurarse de que se está utilizando correctamente el datum vertical en todo el proyecto, por lo que, de ser necesario, se realizan correcciones a partir de la información elipsoidal y geodésica que se obtenga.

$$\textit{Altura ortométrica} = \textit{Altura elipsoide} - \textit{Altura geoide}$$

La altura elipsoide es la diferencia entre el elipsoide de la tierra y la coordenada elegida en la superficie de la Tierra. Debido a que las coordenadas GPS se basan en un modelo elipsoidal, no es necesario realizar cálculos adicionales si se está utilizando un receptor GPS. La altura geoide es el valor del desplazamiento entre el modelo geoide al que hace referencia y el elipsoide de tierra.

El resultado de esto es la altura ortométrica. Esta debe mantenerse coherente a lo largo de los datos obtenidos.

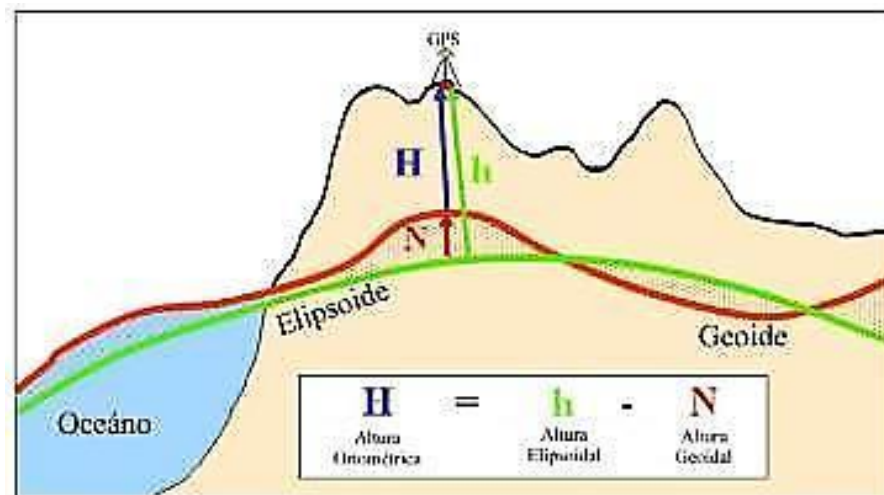


Figura 3-6. Diferencia entre un elipsoide y el geoide.

Fuente: [https://www.researchgate.net/figure/Figura-21-Relacion-espacial-entre-el-geoide-elipsoide-y-la-superficie-terrestre\\_fig14\\_319087358](https://www.researchgate.net/figure/Figura-21-Relacion-espacial-entre-el-geoide-elipsoide-y-la-superficie-terrestre_fig14_319087358)

### 3.5 Datum.

Es el conjunto formado por una superficie de referencia (el elipsoide) y un punto en el que se enlaza tangencialmente al geoide. Este punto se denomina punto fundamental y su altura geoidal es igual a cero. Para un mismo elipsoide pueden utilizarse diferentes puntos fundamentales que darán lugar a diferentes datums y coordenadas.

Los elipsoides globales o generales están situados en el centro de gravedad terrestre, pero los elipsoides locales pueden estar atados al geoide a través de diferentes referencias, según convenga. Por ejemplo, a continuación, se presenta el lugar de origen del datum NAD27 en la Estación de Triangulación Rancho Meades en Osborne County, Kansas.



Figura 3-7. Estación fundamental del datum NAD27

Fuente: [https://www.noaa.gov/digital-collections/search/item?search\\_api\\_fulltext=meade&page=4](https://www.noaa.gov/digital-collections/search/item?search_api_fulltext=meade&page=4)

De la misma forma que existen elipsoides globales y locales, así ocurre con los datum. Un datum geodésico global está definido por el tamaño, forma y orientación de un elipsoide y su ubicación está en el centro de la Tierra, un ejemplo de esto es el datum global WGS84 cuyo centro es el centro de masa del planeta.

Los datum locales pueden ser horizontales o verticales. Un datum horizontal se utiliza para dar coordenadas en "X" e "Y" como el anteriormente mencionado el NAD27, mientras que los datum verticales describen una altura de referencia respecto al nivel medio del mar. El datum vertical utilizado en El Salvador forma parte de un ajuste realizado por el Servicio Geodésico Interamericano (IAGS) y se basó en las observaciones de la estación mareográfica local en el antiguo puerto de Cutuco, en La Unión (1960) y es conocido como Datum La Unión.

### **3.6 Sistema de coordenadas geográficas.**

Un sistema de coordenadas geográficas utiliza una superficie esférica tridimensional para definir ubicaciones en el planeta. Es común confundirlos con un datum, pero en realidad el datum es solo una parte del sistema de coordenadas geográficas.

Para hacer referencia a un punto se utilizan los valores de latitud y longitud. Son ángulos medidos desde el centro de la Tierra hasta un punto de la superficie. Los ángulos se suelen medir en grados (o en grados centesimales)

En el sistema esférico, las líneas que van del este al oeste son líneas de igual latitud, o paralelos. Las líneas verticales abarcan el globo y forman una red cuadrículada llamada retícula.

La línea de latitud que se encuentra en el medio del planeta entre los polos se llama ecuador y define la latitud cero. Por el otro lado, la línea de longitud que se encuentra en medio del planeta y marca la longitud cero es el meridiano base que atraviesa Greenwich. El origen de la retícula se define por el punto donde se interceptan el ecuador y el meridiano de Greenwich y de esta forma, el globo se divide en cuatro cuadrantes geográficos basados en rumbos de brújula desde el origen. El norte y sur se limitan gracias al ecuador, y el meridiano de Greenwich separa el este del oeste.

Para la determinación precisa de un datum vertical y su altura cero, se utilizan mediciones de estaciones mareográficas ponderadas a través de un período de 20 años.

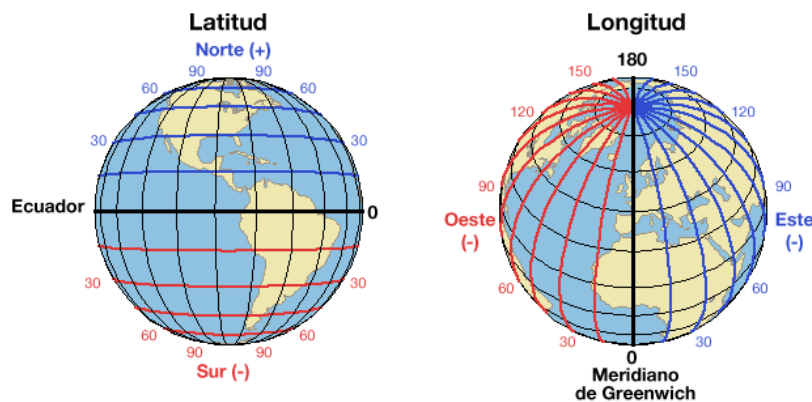


Figura 3-8. Latitud y longitud en la esfera terrestre.

Fuente: <https://sosiales.blogspot.com/2016/09/latitud-y-longitud-coordenadas.html>

Los valores de latitud y longitud se miden tradicionalmente en grados decimales o en grados, minutos y segundos. Los valores de latitud se miden respecto al ecuador y van desde  $-90^\circ$  en el polo sur hasta  $+90^\circ$  en el polo norte. Los valores de longitud se miden respecto al meridiano base. Van de  $-180^\circ$  cuando se viaja hacia el oeste hasta  $180^\circ$  cuando se viaja hacia el este. Si el meridiano base está en Greenwich, Australia, que está al sur del ecuador y al este de Greenwich, tiene valores de longitud positivos y valores de latitud negativos.

### 3.7 Sistema de coordenadas planas.

Los sistemas de coordenadas planas son una representación bidimensional de la superficie de la Tierra que se basan en un sistema de coordenadas

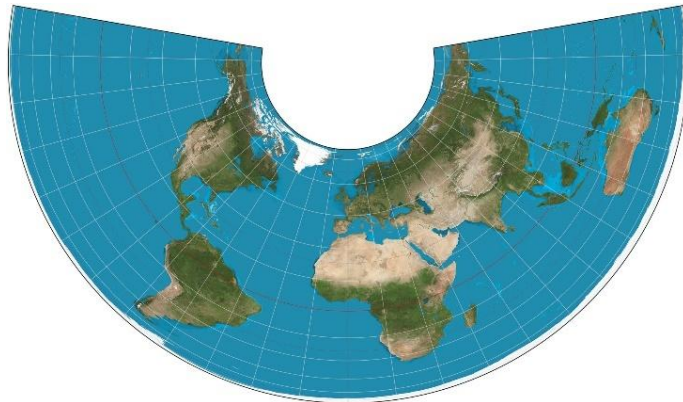
geográficas, pero utilizan unidades lineales para las coordenadas, de manera en que los cálculos se pueden realizar fácilmente.

Las coordenadas de longitud y latitud se convierten respectivamente en coordenadas x, y en la proyección bidimensional, por lo que la coordenada “x” representa un valor entre el este y el oeste, y la coordenada “y” representa un valor entre el norte y el sur.

### **3.8 Proyecciones cartográficas.**

Es posible convertir coordenadas de un sistema geográfico tridimensional a un sistema de coordenadas planas a través de una proyección cartográfica. Las proyecciones cartográficas se pueden clasificar según la superficie de proyección, como un cono o un cilindro; y cada una tendrá distorsiones asociadas a la forma de dicha superficie. Mientras que la mayoría de las proyecciones cartográficas intenta conservar cierta precisión de las propiedades espaciales, otras buscan minimizar la distorsión general, como la proyección Robinson.

- Proyecciones de áreas iguales: Conservan el área de elementos específicos, pero distorsionan la forma, el ángulo y la escala; como por ejemplo la proyección cónica de áreas iguales Albers.



**Figura 3-9. Proyección de Albers.**

Fuente: [https://es.wikipedia.org/wiki/Proyecci3n\\_de\\_Albers](https://es.wikipedia.org/wiki/Proyecci3n_de_Albers)

- Proyecciones conformes: Se conservan todos los ángulos, sin embargo, el área del mapa está distorsionada. Dos grandes ejemplos de esto son las proyecciones Mercator y Cónica Conformal de Lambert.



**Figura 3-10. Proyección de Mercator.**

Fuente: [https://es.wikipedia.org/wiki/Proyecci3n\\_de\\_Mercator#/media/Archivo:Mercator\\_projection\\_Square.JPG](https://es.wikipedia.org/wiki/Proyecci3n_de_Mercator#/media/Archivo:Mercator_projection_Square.JPG)

- Proyecciones equidistantes: Conservan la distancia entre ciertos puntos manteniendo la escala de un conjunto de datos determinado.

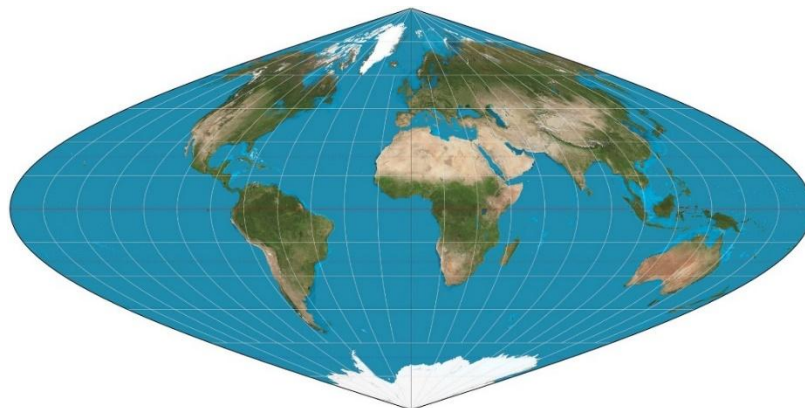


Figura 3-11: Proyección sinusoidal.

Fuente: [https://es.wikipedia.org/wiki/Proyecci3n\\_sinusoidal#/media/Archivo:Sinusoidal\\_projection\\_SW.jpg](https://es.wikipedia.org/wiki/Proyecci3n_sinusoidal#/media/Archivo:Sinusoidal_projection_SW.jpg)

- Proyecci3n de direcci3n verdadera o azimutales: Conservan la direcci3n de un punto a otros puntos manteniendo algunos de los arcos de c3rculos grandes. Ejemplos de esto son la proyecci3n azimutal de igual 3rea de Lambert y la proyecci3n azimutal equidistante.



Figura 3-12. Proyecci3n acimutal equidistante.

Fuente: [https://es.wikipedia.org/wiki/Proyecci3n\\_acimutal\\_equidistante](https://es.wikipedia.org/wiki/Proyecci3n_acimutal_equidistante)

### **3.9 Sistema de referencia geodésico.**

Un sistema de referencia es el conjunto de conocimientos que permiten colocar un espacio tridimensional con ejes coordenadas, definiendo así un origen, direcciones, escala y algoritmos necesarios para transformaciones espaciales. De esta manera, es posible asignar coordenadas a diferentes puntos sobre la superficie y son necesarios debido a que la Tierra no es una esfera perfecta.

La georreferenciación es el uso de coordenadas de mapa para asignar una ubicación espacial a entidades cartográficas. Gracias a esto, es posible establecer la posición de edificios, parques, carreteras, elementos de la naturaleza y otros respecto a un sistema en común, a lo que denominamos sistema de coordenadas geográficas.

La manera en la que un sistema de referencia otorga coordenadas a elementos espaciales es a través de un *marco de referencia*, que es su materialización a través de un conjunto de elementos como las coordenadas de los puntos de definición, técnicas aplicadas en observaciones o medidas y los métodos de cálculo aplicados para la obtención de parámetros.

De esta forma, un sistema de referencia queda conformado por: un elipsoide, un datum y una proyección cartográfica.

El sistema y marco de referencia regional es el Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas (SIRGAS), que no es más que la densificación del ITRS en el continente americano. Al mismo tiempo, el sistema y marco de

referencia local es denominado SIRGAS-ES2007, que densifica la información a lo largo del país.

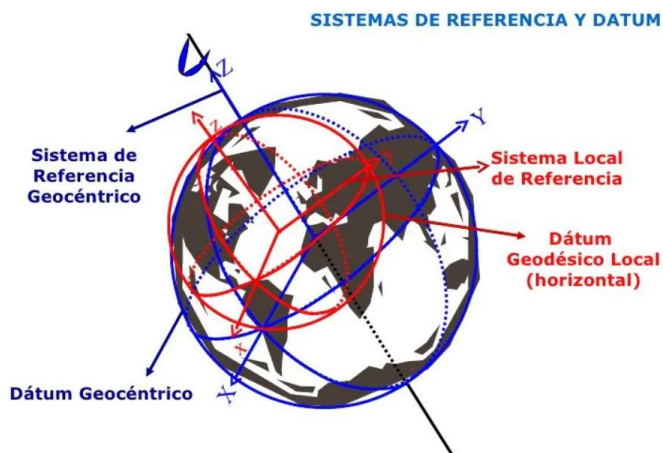


Figura 3-13. Sistema geodésico de referencia.

Fuente: <https://adenilsongiovani.com.br/blog/sistema-geodesico-de-referencia/>

### 3.10 Sistemas Globales de Navegación por Satélite (GNSS).

Un sistema global de navegación por satélite es una constelación de satélites que transmite rangos de señales utilizados para el posicionamiento y localización en cualquier parte del globo terrestre, ya sea en tierra, mar o aire. Estos permiten determinar las coordenadas geográficas y la altitud de un punto dado como resultado de la recepción de señales provenientes de constelaciones de satélites artificiales de la Tierra para fines de navegación, transporte, geodésicos, hidrográficos, agrícolas y otras actividades afines.

Los sistemas GNSS tienen tres segmentos que lo conforman:

- Segmento espacial: Lo constituyen los satélites artificiales (de navegación como de comunicación).
- Segmento control: Corresponde al conjunto de estaciones presentes en la superficie terrestre, las cuales se encargan de recolectar los datos obtenidos para ponerlos a disposición de los usuarios.
- Segmento usuario: Son los equipos, terminales, receptores y dispositivos que reciben las señales procedentes del segmento espacial.



Figura 3-14. Constelación de satélites.

Fuente: <https://www.spirent.com/blogs/what-is-the-difference-between-gnss-and-gps>

### 3.10.1 GPS.

El sistema GPS consta de 24 satélites que se encuentran distribuidos en 6 planos orbitales circulares a 20,200 km de altura con una velocidad de 14000 km/h (3.88 km/s). A esta altura, los satélites dan una vuelta completa al planeta en 11 horas con 58 minutos. Cada órbita alberga 4 satélites uniformemente espaciados y tiene una inclinación de 55 grados respecto al Ecuador.

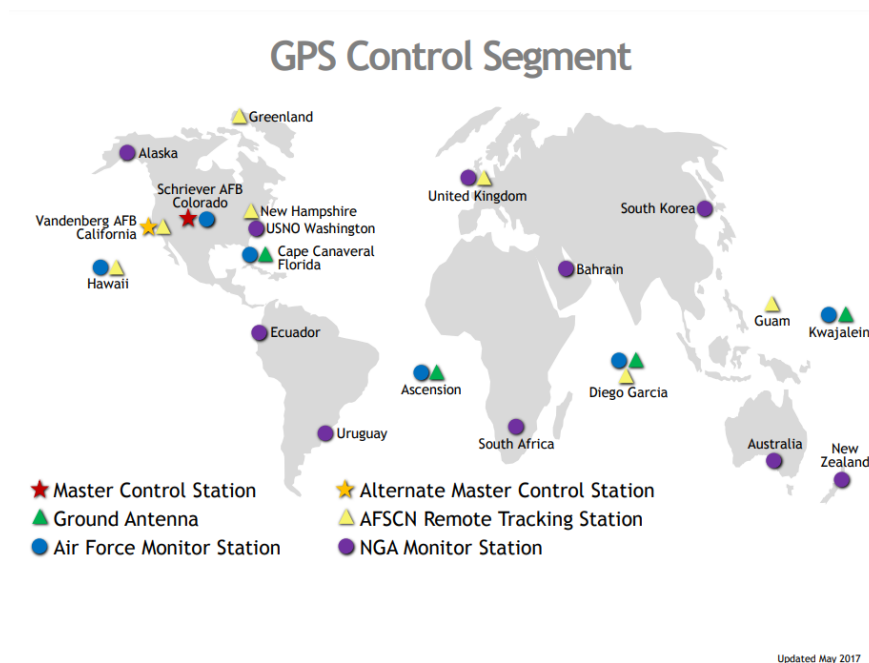


Figura 3-15. Segmento de control del sistema GPS.

Fuente: [https://www.starcom.spaceforce.mil/Portals/2/SDP%204-0%20Sustainment%20\(Signed\).pdf?ver=jFc\\_4BiAkDjJdc49LmESgg%3D%3D](https://www.starcom.spaceforce.mil/Portals/2/SDP%204-0%20Sustainment%20(Signed).pdf?ver=jFc_4BiAkDjJdc49LmESgg%3D%3D)

### 3.10.2 GLONASS.

El segmento espacial está compuesto por una constelación de 24 satélites MEO (Medium Earth Orbit) distribuidos en 3 planos orbitales con 8 satélites cada uno a una distancia inferior a la de GPS, de 19.140 km, que tardan unas 11 horas en dar la vuelta completa a la Tierra. Con 18 satélites es suficiente para dar un servicio integral en todo el territorio ruso.

	Satélites Legacy		Satélites Modernizados			
	GLONASS	GLONASS-M	GLONASS-K1	GLONASS-K2	GLONASS-V	GLONASS-KM
Estado	Fuera Servicio	En Servicio	En servicio	En servicio	Fase de Diseño	Fase de Investigación
Señales	- L1OF, L1SF - L2SF	- L1OF, L1SF - L2OF, L2SF - L3OC (2014)	- L1OF, L1SF - L2SF, L2SF - L3OC	- L1OF, L1SF, L1OC, L1SC - L2SF, L2SF - L3OC	- L1OC, L1SC - L2OC, L2SC - L3OC	- L1OF, L1SF, L1OC, L1SC, L1OCM - L2SF, L2SF - L3OC, L3OCM - L5OCM
Vida Útil	3	7	10	10	-	-
Fechas Lanz.	1982 – 2005	2003 - ¿?	2011 - ¿?	2019 - ¿?	2023/25 - ¿?	2030 - ¿?

**Figura 3-16. Cuadro resumen de satélites de GLONASS.**

Fuente: Vílchez Benigno, Sonia (2019). Satélites del sistema GLONASS (Tabla). Descripción y representación de las señales GNSS

### 3.10.3 Sistema GALILEO.

Galileo es el GNSS desarrollado por la Unión Europea, en colaboración con la Agencia Espacial Europea, para crear una alternativa europea al GPS estadounidense o al GLONASS ruso. Al contrario de sus predecesores, busca

Se trata, por tanto, de una constelación final de 30 satélites distribuidos en 3 planos orbitales de 10 satélites cada uno, con una inclinación de  $56^\circ$  y separados entre sí por  $40^\circ$ . En cada plano hay un satélite de repuesto, para sustitución en caso de avería, por lo que la constelación activa consta realmente de 27 satélites. El período orbital es de 14 horas y 22 minutos, dando lugar a 10 órbitas completas en 17 días. Actualmente, la constelación de Galileo tiene 26 satélites en órbita.



Figura 3-17. Logo del sistema GALILEO.

Fuente: [https://es.wikipedia.org/wiki/Galileo\\_%28navegaci3n\\_por\\_sat3lite%29](https://es.wikipedia.org/wiki/Galileo_%28navegaci3n_por_sat3lite%29)

#### 3.10.4 BeiDou.

BeiDou es el sistema GNSS que la Rep3blica Popular de China ha estado desarrollando durante las 3ltimas d3cadas a fin de alcanzar la autosuficiencia en el campo de la geo navegaci3n.



Figura 3-18. Logo del sistema BeiDou.

Fuente: <https://en.wikipedia.org/wiki/BeiDou>

### **3.11 Técnicas de medición con GPS.**

Existen cuatro técnicas de medición con GPS que son:

- **Levantamiento estático.**
- **Levantamiento estático-rápido.**
- **Levantamiento cinemático.**
- **Levantamiento RTK.**

#### **3.11.1 Levantamiento estático.**

Se trata del primer método desarrollado para levantamientos GPS. Tiene la posibilidad de utilizarse para la medición de líneas-base largas (aproximadamente 20 km o más). Se caracteriza por ofrecer una alta precisión en largas distancias, pero un tiempo necesario alto, de manera que es un método lento.

Para la metodología de trabajo, se coloca un receptor en un punto cuyas coordenadas son conocidas, que será el receptor de referencia, mientras el otro receptor será colocado en el otro extremo de la línea base, registrando datos de manera simultánea durante un periodo de tiempo. Este tiempo de observación está en torno a la hora para distancias de 20 kilómetros, siempre teniendo en cuenta la geometría, el número de satélites y la longitud de onda. Una vez registrados los datos necesarios, se desplaza el segundo receptor (móvil) y se mide una nueva línea base. Para que la medida de este tipo de redes sea fiable,

deberá haber redundancia en los datos, por lo que se recomienda un tercer receptor móvil, incrementando la productividad

### **3.11.2 Levantamiento estático-rápido**

Al igual que en el estático, se elige un punto de referencia y el resto de los móviles operan respecto a este primero. La principal diferencia entre ambos será la longitud de la línea base medida, de manera que los tiempos serán mucho menores en este método. Es usado sobre todo para establecer redes de control locales o incrementar la densidad de redes existentes.

El Receptor de Referencia se ubica por lo general sobre un punto conocido y puede ser incluido en los cálculos de los parámetros de transformación. Si no se conoce ningún punto, puede ser ubicado en cualquier lugar de la red. Los receptores móviles se situarán durante un tiempo que dependerá de la longitud de la línea base y del GDOP obtenido. Los datos serán registrados en campo y procesados en gabinete, siempre asegurando la obtención de la redundancia adecuada.

### **3.11.3 Levantamiento cinemático**

Empleado para levantamientos de detalles y para la medición de muchos puntos de sucesión corta. Se trata de un método muy eficiente para medir muchos puntos que están muy cerca uno de otro. Este levantamiento involucra un móvil

que se desplaza y cuya posición puede ser calculada en relación con la referencia.

Primero, el móvil tiene que realizar el procedimiento conocido como iniciación. La referencia y el móvil se activan y permanecen absolutamente estáticos por 5-20 minutos, registrando datos.

Tras este periodo, el móvil puede moverse libremente, de manera que se pueden registrar posiciones con un intervalo de tiempo predeterminado, puede registrar otras posiciones, o una combinación de las dos. Esto es lo que se conoce como cadena cinemática.

Sin embargo, cuando se opera en levantamientos cinemáticos se debe evitar moverse cerca de objetos que pudiesen bloquear las señales de los satélites produciendo obstrucciones en el cielo, como árboles, edificios altos, etc. ya que, si en algún punto el móvil rastrea menos de 4 satélites, hay que detenerse, desplazarse a una posición donde se registren 4 o más satélites y realizar nuevamente la iniciación antes de continuar.

Una técnica de proceso conocida como On-the-Fly (OTF), minimiza esta restricción. Se trata de un método de procesamiento que se aplica a la medición durante el post-proceso. Al inicio de la medición, el operador puede comenzar a caminar con el receptor móvil y registrar datos. Si camina bajo un árbol y pierde señal de los satélites, el sistema se volverá a iniciar automáticamente al momento de tener suficiente cobertura de satélites.

### 3.11.4 Levantamiento RTK

En este método, se necesita un receptor de referencia y uno móvil. Ambos estarán conectados a través de un enlace de radio, de manera que la estación de referencia retransmite los datos que recibe de los satélites al móvil, que a su vez recibe también los datos directamente de los satélites a través de su propia antena.

A partir de estos dos conjuntos de datos, es posible la resolución de las ambigüedades y obtener una posición bastante precisa con respecto al receptor (estación) de referencia. Estas coordenadas serán diferenciales respecto de la referencia, alcanzando precisiones entre 1 y 5 centímetros. El contacto entre ambos receptores debe existir siempre para alcanzar estas precisiones.

Si en algún momento esta conexión se pierde (interferencia de árboles o edificios), debe establecerse para seguir midiendo, ya que de otra manera la precisión bajaría mucho en calidad.

El Levantamiento mediante la técnica RTK se está convirtiendo en el método más común para realizar levantamientos GPS de alta precisión en áreas pequeñas y puede ser utilizado en aplicaciones donde se utilizan las estaciones totales convencionales.

- **RTK NTRIP:** que se refiere al transporte de datos de navegación satelital a través de internet, a diferencia del uso tradicional que implica una radio interna

o externa para dicha acción. Para la técnica NTRIP se requieren de una estación base (CORS) que puede ser una estación permanente o base activa, servidor cáster que es el servidor de internet que administra el flujo de datos y el rover del usuario, que es el receptor utilizado en el terreno.

- **RTK UHF:** la base RTK se conecta al Radiomódem incluido en el paquete, y este transmite una señal UHF que es recibida por el ROVER RTK mediante su módem UHF interno. El alcance máximo entre Base y Rover de esta configuración es de 45 kms en línea directa, y puede verse afectado por la vegetación. Esta configuración es completamente autónoma y trabaja en cualquier sitio, incluso en el océano abierto. A la Base se puede conectar un número ilimitado de Rovers.

## **CAPÍTULO 4: DEFINICIONES GENERALES**

### **4.1 Fotogrametría.**

La fotogrametría es una técnica cuyo objeto es estudiar y definir con precisión la forma, dimensiones y posición en el espacio de un objeto cualquiera, utilizando esencialmente medidas hechas sobre una o varias fotografías de ese objeto.

A mediados del siglo XIX se conseguían fotografías aéreas desde globos aerostáticos y cometas, el reconocimiento aéreo no alcanzó una amplia utilización hasta la I Guerra Mundial, cuando las cámaras se montaron en aviones. Las aplicaciones militares de la fotografía aérea adquirieron mayor importancia durante la II Guerra Mundial, gracias al desarrollo de los aviones, cámaras y películas. Al final de la década de 1930 y durante la de 1940, Estados Unidos realizó los primeros reconocimientos aéreos de grandes áreas, en apoyo de una serie de programas gubernamentales para la conservación del suelo y la gestión forestal.

Existen varias formas de hacer fotogrametría:

- **Fotogrametría analógica:** Son los modelos matemáticos utilizados, Evidentemente, fue la primera parte de la fotogrametría en desarrollarse.
- **Fotogrametría analítica:** Se encarga de aplicar los modelos matemáticos a objetos físicos. Fue segunda parte en desarrollarse.
- **Fotogrametría digital:** Con la aparición de los ordenadores, se sustituye la imagen analógica por la imagen digital, del mismo modo que se

empiezan a utilizar programas informáticos. En la actualidad la fotogrametría digital convive con la analítica.

- **Fotogrametría aérea:** Es cuando las estaciones se encuentran en el aire. Se aplica para la elaboración de planos y/o mapas para el desarrollo de proyectos de ingeniería.
- **Fotogrametría de corto alcance:** En este caso, las estaciones se encuentran a nivel del suelo, la distancia de captura se encuentra entre 1 m y 30 m.
- **Fotogrametría subacuática:** En este caso las estaciones se encuentran bajo el agua. Se aplica a objetos depositados en cuerpos de agua como el mar o lagos.

Una de las principales aplicaciones de la fotogrametría es la topografía, ya que permite medir coordenadas en tres dimensiones y además da como resultado la representación compleja de un objeto en un documento de fácil manejo. A ello se une el carácter instantáneo del registro, con la consiguiente agilidad para procesar la información frente a la topografía clásica.

La fotogrametría realiza mediciones sobre fotografías digitales, por lo tanto, las mediciones obtenidas son medidas indirectas, ya que no se está midiendo el objeto como tal, sino la imagen del objeto. Los análisis realizados mediante software especializado se necesitan 2 imágenes que cumplan con criterios como:

traslape longitudinal, traslape lateral, verticalidad de la imagen y referencias de ubicación de las imágenes.

#### **4.2 Estereoscopía como principio para la fotogrametría.**

La estereoscopía es cualquier técnica capaz de recoger la información visual tridimensional y/o crear la ilusión de profundidad mediante una imagen estereográfica, un estereograma o una imagen 3D. 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 la forma habitual de ver. Muchas pantallas 3D usan este método para transmitir imágenes. Fue inventado por Sir Charles Wheatstone en 1840.

Los dos ojos, al estar situados en posiciones diferentes, recogen cada uno en sus retinas una imagen ligeramente distinta de la realidad que tiene delante. Esas pequeñas diferencias se procesan en el cerebro para calcular la distancia a la que se encuentran los objetos mediante la técnica del paralaje. El cálculo de las distancias sitúa los objetos que se están viendo en el espacio tridimensional, obteniendo una sensación de profundidad o volumen. Por lo que si tomamos o se crean dos imágenes con un ángulo ligeramente distinto y se las mostramos a cada ojo por separado, el cerebro podrá reconstruir la distancia y, por lo tanto, sensación de tridimensionalidad.

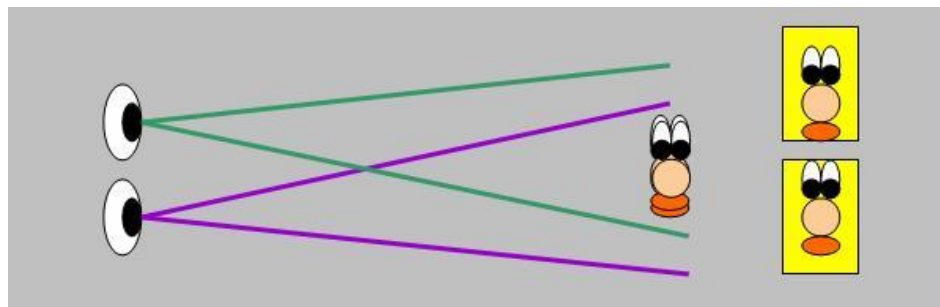


Figura 4-1. Percepción visual desde los ojos humanos.

Fuente: <https://es.wikipedia.org/wiki/Estereoscopia>

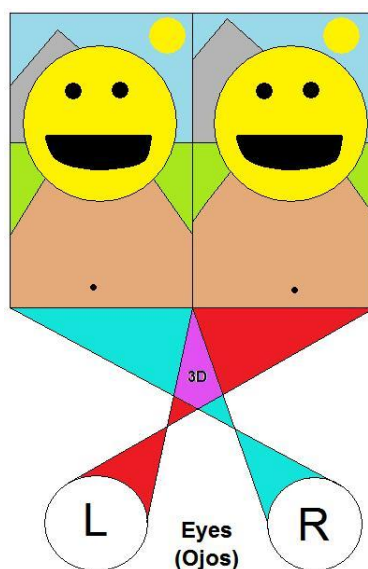


Figura 4-2. Muestra de cómo al cruzar los ojos se puede lograr el efecto 3D.

Fuente: <https://es.wikipedia.org/wiki/Estereoscopia>

La misión del vuelo fotogramétrico tiene por objeto cubrir con sus imágenes una determinada zona y para ello es preciso que cada fotograma tenga una zona común con las contiguas zonas de recubrimiento. Es necesario establecer los recubrimientos longitudinales, laterales, seguridad de un recubrimiento total de la zona, calidad de la imagen, entre otros aspectos, para obtener un buen resultado.

Para cumplir con el propósito de mapas y planos utilizando fotogrametría, es necesario que las imágenes se traslapen de manera uniforme en ambas direcciones del plano fotográfico. Por lo tanto, al configurar el plan de vuelo, es necesario asegurar un buen traslape longitudinal como transversalmente.

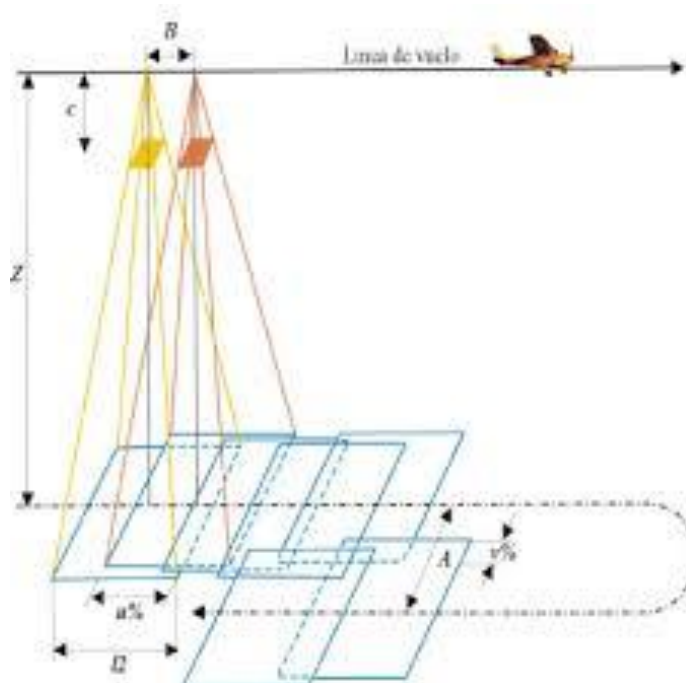


Figura 4-3. Ejemplo de un plan de vuelo con sus traslapés.

Fuente: Planeamiento de vuelo fotogramétrico para tomas de fotografías verticales.PDF

La fotogrametría con drones ha venido a facilitar enormemente el proceso en comparación con la fotogrametría aérea con aviones, cuyo procedimiento involucraba una larga lista de cálculos que, gracias al dron, se simplifican. Se recomienda que los drones tengan una cámara profesional de mínimo 20 megapíxeles y un sensor mínimo de 1".

La fotografía aérea es notablemente diferente a las imágenes por satélite. Las fotografías aéreas se pueden capturar mediante una gran cantidad de dispositivos diferentes, entre los que se incluyen los drones, y se realizan desde el aire a cualquier altura. Para que una fotografía se considere una imagen por satélite, debe haberse realizado desde un dispositivo que orbite alrededor de la Tierra. El resultado es que las imágenes por satélite se utilizan con moderación en el sector privado y son las más habituales en la investigación científica y la monitorización del clima.

Aunque tanto la fotografía aérea como las imágenes por satélite se consideran formas de detección remota, los satélites tienen diferentes usos adicionales, como la identificación de los cambios de temperatura, gracias a su singular emplazamiento tan lejos del planeta. Obviamente, las imágenes por satélite también tienen un uso práctico limitado para proyectos centrados en un área más pequeña o que requieren el uso de imágenes con una extrema riqueza de detalles.

Es importante tener en cuenta que la fotogrametría es diferente al sistema LiDAR, que responde a las siglas en inglés de detección y alcance de la luz. Mientras que la fotogrametría se basa en la identificación de coordenadas para crear una imagen precisa en 3D, el sistema LiDAR genera la topografía a través de la medición de la cantidad de tiempo que tarda una onda luminosa en reflejarse en el suelo y, de nuevo, en un dron. Esta técnica topográfica es increíblemente

precisa, pero también es cara. No solo por los costes del equipo, sino porque además es de mayor volumen, es decir, porque los drones tienen que ser más grandes.

### **4.3 Aerotriangulación.**

La aerotriangulación tiene por objeto obtener las coordenadas de diversos puntos del terreno mediante los procedimientos de la fotogrametría. Fue concebida para efectuar los levantamientos topográficos por medio de la fotografía, reduciendo al mínimo los trabajos a realizar en el campo. Necesita apoyarse sobre puntos de posición conocida en el terreno y que tendrán que determinarse en campo por métodos geodésicos y topográficos. El objetivo de la aerotriangulación es obtener la posición del mayor número posible de estos puntos de apoyos mediante operaciones fotogramétricas de gabinete, reduciendo, por tanto, los trabajos a realizar en campo.

Dentro del conjunto de tareas que conllevan las ejecuciones cartográficas por procedimientos fotogramétricos se encuentra la fase de orientación absoluta, consistente en dar escala y nivelar el modelo estereoscópico a partir de una serie de puntos de posición conocida. Para grandes proyectos, el número de puntos de control (puntos de apoyo) necesarios es enorme, y el coste de realización puede ser extremadamente alto si es realizado exclusivamente por métodos de medición en campo. Muchos de estos puntos de control necesarios se establecen

rutinariamente por aerotriangulación desde una escasa conexión de control terrestre de trabajos de campo y unos sustanciales ahorros en coste.

Además de tener una ventaja económica sobre las mediciones en campo, la aerotriangulación aporta otros beneficios:

- La mayor parte del trabajo se hace en gabinete, minimizando retrasos por condiciones adversas.
- No hay que acceder demasiado al área del proyecto.
- Se reduce mucho el trabajo de campo en áreas difíciles.
- El ahorro del trabajo de campo necesario para formar el plan de vuelo se verifica durante el proceso de aerotriangulación y, como consecuencia de esto, crea posibilidades de control de valores erróneos para después en la iniciación de la formación ser minimizados y usualmente eliminados.

Esta última ventaja es tan significativa que algunas organizaciones llevan a cabo la formación de puentes, aunque exista un control adecuado de medidas en campo. Es por esta razón que algunas especificaciones para proyectos de mapas requieren el uso del establecimiento de control fotográfico.

La idea surgió hacia 1940, fecha en la que, haciendo mediciones sobre dos fotografías, se calculaban puntos de un modelo (aerotriangulación de un bloque de un único modelo). Posteriormente, y mediante empalme de varios modelos consecutivos de una misma pasada, se obtenía a la vez la orientación absoluta de todos los modelos y las coordenadas de los puntos en cada uno de los

modelos; el empalme se realizaba por los puntos comunes entre dos modelos consecutivos. Obtenidas varias fajas consecutivas, podía establecerse una compensación. El método se denominó Aeropoligonación. Debido fundamentalmente a la escasez de medios de cálculo, era preferible reducir el tiempo de procesamiento de los datos (compensación), aumentando el tiempo de medición usando fotogramas con una escala menor, aparatos de muy alta precisión de medida, realizando el mínimo cálculo posible. Los aparatos usados hasta entonces fueron de primer orden, muy estables, sólidos y precisos, provistos de paralelogramo de Zeiss y mecanismos ópticos de inversión de imágenes para el empalme de modelos de una misma pasada, los cuales resultaban muy caros.

A partir de 1960, el aparato de cálculo estuvo dispuesto, con suficiente velocidad de operación, dejando paso a otros tipos diferentes de compensación, como son el método de haces de rayos y el de los modelos independientes.

En aerotriangulación es común denominar a los puntos determinados en campo (apoyo de campo), como puntos de control. A los puntos que se determinan mediante aerotriangulación se denominan puntos enlace y paso. Algunas veces, podremos encontrarnos con las denominaciones de puntos de control mayores y menores, haciendo referencia los primeros al apoyo en campo y los segundos a los puntos obtenidos por aerotriangulación.

#### **4.4 Definición de topografía**

La topografía es una ciencia que estudia el conjunto de procedimientos para determinar las posiciones relativas de los puntos sobre la superficie terrestre y debajo de la misma, mediante la combinación de las medidas según los tres elementos del espacio: distancia, elevación y dirección. Es decir, la topografía tiene como objetivo representar de manera gráfica las partes de la superficie terrestre, con sus formas y detalles tanto naturales como artificiales, mediante los resultados de los procedimientos y operaciones de trabajo de campo, los métodos de cálculo o procesamiento de datos.

La topografía tiene aplicaciones en las diferentes ramas de la ingeniería.

- Ingeniería civil: Se utiliza antes, durante y después para construcciones de obras civiles como edificios, puentes, canales, presas, carreteras, ferrocarriles, obras de mitigación, etc.
- Ingeniería agrícola: Se utiliza para los deslindes, divisiones de tierra, determinación de áreas, etc.
- Ingeniería eléctrica: Se utiliza en los levantamientos previos y trazos de líneas de transmisión, construcción de plantas hidroeléctricas, etc.
- Ingeniería mecánica e industrial: Se utiliza para la instalación precisa de máquinas y equipos industriales, configuración de piezas metálicas de gran precisión, etc.

#### 4.4.1 Levantamiento topográfico

Se denomina levantamiento topográfico al conjunto de operaciones necesarias para determinar las posiciones de puntos en la superficie de la tierra, tanto en planta es decir planimetría y en altura es decir altimetría, con el fin de realizar los cálculos correspondientes para obtener una representación gráfica a lo que se le denomina un plano topográfico.

- Planimetría: Se encarga de la representación gráfica de una porción de tierra, sin tener en cuenta las diferencias de alturas que pueda tener terreno.

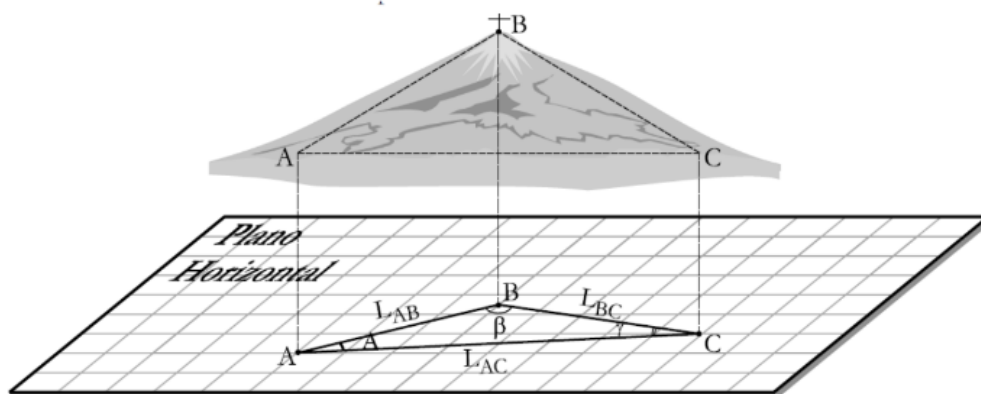


Figura 4-4. Representación de planimetría de un terreno.

Fuente: Folleto de topografía I de la UES Ing. Portillo

- Altimetría: Se encargan de los procedimientos que proporcionan en proyección vertical, la posición relativa o absoluta de los puntos de la superficie terrestre. Su operación es fundamental es la nivelación.

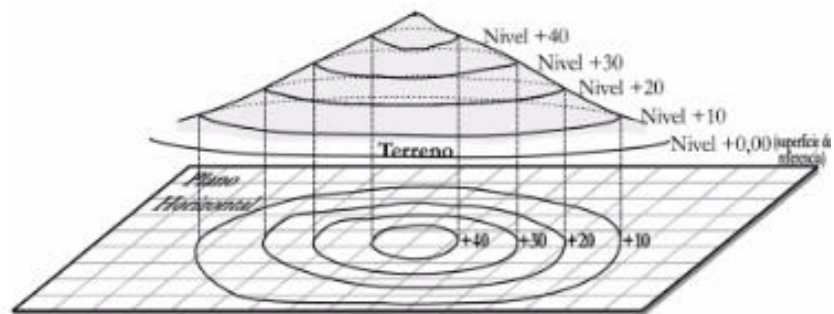


Figura 4-5. Representación de la altimetría de un terreno.

Fuente: Folleto de topografía I de la UES Ing. Portillo



**Figura 5-1. Zona de interés sobre Carretera de Oro**

**Fuente. Elaboración propia**



**Figura 5-2. Fotografía de la zona de interés.**

**Fuente. Elaboración propia**

## **5.2 Identificación estratégica de puntos de control fotogramétricos (PCF) y medición con equipo GPS mediante la técnica RTK-NTRIP para georeferenciación.**

Para obtener un buen resultado en el levantamiento topográfico, se colocaron 6 puntos de control fotogramétricos (PCF) en lugares estratégicos dentro del área del proyecto, abarcando lo máximo posible el contorno de la superficie de análisis.

Se optó por marcar dichos puntos con pintura en lata de colores con el objetivo de que fuesen completamente visibles por el dron a la hora de realizar el vuelo. De esta manera, se podrán ingresar dichos puntos con sus coordenadas para el procesamiento de los datos.



Figura 5-3. Posicionamiento y nivelación de equipo GPS de doble frecuencia para la toma de puntos PCF con la técnica RTK NTRIP.

Fuente. Elaboración propia



Figura 5-4. Posicionamiento y nivelación para la toma de puntos de los PCF con RTK NTRIP.

Fuente. Elaboración propia



**Figura 5-5: Marca foto identificable para el cálculo del PCF con RTK NTRIP.**

**Fuente. Elaboración propia**



**Figura 5-6. Geolocalización de los PCF con RTK NTRIP.**

**Fuente. Elaboración propia**

Para obtener las coordenadas de los puntos de control, se utilizó la técnica RTK NTRIP para dispositivos GPS, en este caso de la marca TERSUS, tomando como estación base la estación CORS marca CHCNAV ubicada en la Facultad de

Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador. Los resultados obtenidos fueron:

Punto	X	Y
PCF1	482733.8388	290591.2848
PCF2	482748.8189	290671.809
PCF3	482764.9073	290675.0489
PCF4	482763.3502	290626.7651
PCF5	482895.2941	290605.6834
PCF6	482883.1988	290625.7164

*Tabla 5-1. Coordenadas obtenidas RTK NTRIP*

Fuente. Elaboración propia

### **5.3. Planificación y ejecución del vuelo con dron.**

La programación del plan de vuelo involucra un conjunto de conocimientos básicos sobre aplicaciones y teléfonos móviles, a diferencia de los instrumentos topográficos tradicionales, esto se debe a que el uso del dron se utiliza en topografía y los fabricantes los diseñan de tal manera que sean utilizados para varias funcionalidades, en cambio, los instrumentos topográficos son para la ciencia topográfica y se diseñan específicamente para esos fines.



Figura 5-7. Fotografía de dron utilizado en la medición de la zona de estudio de la ladera.

Fuente: Elaboración propia

Es la aplicación móvil lo que hace que el dron pueda ser muy versátil y adaptable para diferentes trabajos profesionales.

### **5.3.1 Componentes para la configuración de un plan de vuelo.**

Para configurar un plan de vuelo, es necesario comprender el equipo y que se puede clasificar de esta manera:

#### **Modelo del dron**

Esta parte tiene que ver directamente con el dron en uso. El modelo utilizado en el proyecto es DJI Mavic 2 Pro color gris, que contiene las siguientes características importantes:

El dron **Mavic 2 Pro** de DJI cuenta con características avanzadas para captura de imágenes y video de alta calidad, aunque este último aspecto no lo necesitamos para el estudio, pero mencionaremos los aspectos de importancia para topografía:

**Cámara Hasselblad**: Cuenta con una cámara Hasselblad L1D-20c, con un sensor CMOS de 1 pulgada y 20 MP, permitiendo capturas nítidas y de alta calidad. Esta característica es importante para topografía, ya que mejora la imagen considerablemente, esto se logra por el modelo LI1D-20C del fabricante Hasselblad, ya que fue diseñado para fotografías aéreas, el sensor CMOS de 1 Pulgada nos indica que puede “capturar más luz “, cabe destacar que esta cualidad no es tan usual en otras cámaras para drones, los 20 MP indica los píxeles, en este caso 20 megapíxeles permite tomar fotografías de alta resolución, entre más alto es el número de píxeles más adecuada es para topografía mediante fotogrametría.

**Tiempo de vuelo**: Hasta 31 minutos con velocidad constante de 25 km/h, en condiciones óptimas.

**Distancia de transmisión**: Hasta 4,3 millas (aproximadamente 6,9 km) en calidad HD.

**Sistema de prevención de colisiones**: Detección de obstáculos omnidireccional, ofreciendo una mayor seguridad al volar en entornos complejos

**Control**

El control del dron es parte del equipo. En momentos en el que la aplicación móvil no está dando resultado, existen botones extras al alcance para poder operar el dron. En este caso, para poder usar el control manual se debe activar en el dron en modo “manual “, cabe mencionar que esta opción requiere una gran destreza en su utilización, puesto que primero hay calibrar muchas variables como son:

- Respuestas de movimiento al joystick
- Habilitar sensores
- Realizar configuración personal a los botones “R” y “L”

Este control normalmente no se utiliza, puesto que la configuración estándar del dispositivo mantiene una buena coordinación entre todas estas variables.



Figura 5-8. Control del dron utilizado.

Fuente:” <https://www.aerial-guide.com/article/mavic-2-pro-zoom-t-p-s-flight-modes-on-the-remote-controller>”.

## **Aplicación**

En esta época, las aplicaciones para teléfonos móviles son muy cambiantes. Esto es porque los componentes de los dispositivos sufren mejoras constantes y, por tanto, las aplicaciones deben también contener hasta la última actualización para que pueda utilizarse en su máximo potencial.

Para el presente proyecto se utilizaron dos aplicaciones para teléfono móvil que son:

- DJI GO 4 para dispositivos iOS
- PIX4DCapturePro dispositivos iOS y Android

El objetivo es tener control del dron, como también sus características propias como imágenes, sensibilidad de movimiento manual, baterías, altura de vuelo, etc. Esto se logra a través de DJI GO 4. En lo que respecta al control del dispositivo en sí, con esto es suficiente, luego hay que controlar el aspecto topográfico mediante PIX4DCapturePro, con el que se programarán planes de vuelo automatizados concernientes a la fotogrametría. DJI GO 4 controla el dron, y PIX4DCapturePro lo direcciona para mapeo.

### **5.4 DJI GO 4**

La aplicación DJI GO 4 es el software más utilizado de los dos presentados, ya que esta muestra el comando central mientras el dron realiza sus tareas automatizadas, y, por tanto, permite tener un monitoreo constante. Los aspectos básicos son:

### 5.4.1 Interface DJI GO 4



Figura 5-9. Interface DJI GO 4

Fuente: <https://www.udocz.com/apuntes/306987/dji-go-4-manual-espanol>

En esta vista están todos los controles, comandos, señales, indicaciones y toma de decisiones del dron. Es por este medio que se visualiza lo que ve el dron directamente. Esta interfaz (el modo en como están organizados y orientados los botones y visualización) puede cambiar según las versiones o actualizaciones disponibles del software, pero los aspectos importantes que son:

- Estado del sistema: Indica una especie de comportamiento del vuelo en el cual el dron enviará los mensajes de advertencia necesarios.
- Batería: Monitorea constantemente la batería a pesar de que el dron tenga un mecanismo que actúa independientemente, y regresará al cabo de unos minutos antes de que termine la totalidad de la batería.
- Señal GPS: Visualiza constantemente el monitoreo de señal GPS. Esto se hace por las interferencias de ondas; el color blanco o color verde en otras versiones indica adecuada señal de satélites.

- RTH inteligente (botón digital de aborto de misión): Este botón es importante en casos de querer abortar la misión en cualquier momento, también como una opción al botón de abortar físico y manual del control del dron por fabricantes.
- Reproducción: Permite observar la ubicación del dron en el área de estudio en tiempo real; algunas versiones pueden mostrarse mediante una pequeña pantalla.
- Configuración general: Configura las opciones propias y únicas de cada dron.
- Colores en general: Indican estados óptimos u adecuados: colores como blanco y verde indican buena conexión o buen desempeño; colores como anaranjado y rojo nos indica que algo puede estar en problemas.

#### 5.4.2 Configuraciones Generales

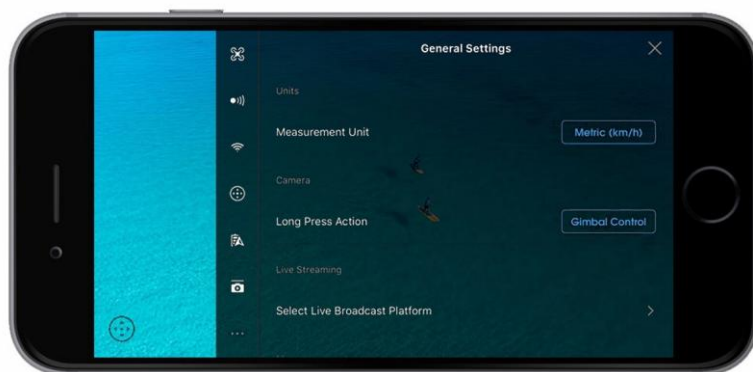


Figura 5-10. Configuraciones generales.

Fuente: <https://www.udocz.com/apuntes/306987/dji-go-4-manual-espanol>

Se muestra la pantalla general para la configuración, es posible que aparezca el botón siguiente o, en otras versiones, bajar con el táctil de la pantalla. En términos generales, se configura lo siguiente:

- Unidades métricas o "Measurement Unit"
- Altura del vuelo
- Altura del vuelvo de retorno o "Return-to-Home" (RTH)
- Tiempos de baterías

Las unidades deben ser coherentes con el sistema de medida esperado en el proyecto, en este caso se utilizaron las unidades Km/h.

La altura de vuelo deberá ser calculada en campo teniendo en cuenta que el origen de la altura del dron será exactamente la posición inicial donde se coloque, para el proyecto el dron fue elevado desde una altura aproximadamente de 60 metros (coincide con los puntos PCF5 Y PCF6 en su altura), esto debido a las condiciones del terreno y de un sitio adecuado para aterrizaje o el modo retorno. Al observar el entorno, se determina una altura aproximada desde un punto de referencia hasta el lugar de elevación del dron, donde fueron 30 metros en el área del proyecto. Esto es porque se lograrían los 100 metros de altura desde la Carretera de Oro, y se visualizaría toda la zona de estudio.



**Figura 5-11. Ladera de estudio**  
**Fuente. Elaboración propia**

La altura del vuelo de retorno es la altura a la que el dron se elevará exactamente para retornar a su origen por alguna circunstancia de emergencia o cuando termine el vuelo. Para el proyecto se escogió una altura de 30 metros, que con una altura de vuelo de 20 metros, que significa que al retornar el dron se elevará a partir de 30 metros, una altura total de 50 metros. Esto se hace debido a los obstáculos que pueda encontrar. Es necesario considerar el equilibrio entre estas dos alturas, ya que, cuanto más cerca esté el dron del objeto de estudio, mejor

precisión y calidad se obtendrán. Es por ello que se pueden optar por las siguientes composiciones de vuelo:

- 20 metros de altura + 40 metros de retorno.
- 15 metros de altura + 45 metros de retorno.
- 30 metros de altura + 20 metros de retorno.

Es necesario vigilar el vuelo y monitorear el mando de control por diversas razones.

- La biodiversidad del sitio, por ejemplo, aves volando cerca del dron
- Árboles únicos como palmeras altas o árboles considerables que sobresalgan del terreno.
- Estructuras humanas que tengan una influencia directa en señal, como por ejemplo antenas, que son muy comunes en senderos y montañas.
- Clima húmedo, esto lo mostrará el dron en sección de temperatura.

Es por eso que un reconocimiento previo de la zona a estudiar es indispensable para poder calcular este tipo de alturas y verificar las condiciones del entorno.

Los tiempos de baterías son de importancia crucial en el plan de vuelo debido a la combinación estratégica del tiempo para retornar por agotarse una batería y el recorrido del dron en un sitio de estudio, se debe buscar un equilibrio y darle muy buen margen al dron para activarse una vez tenga batería baja



Figura 5-12. Interfaz del estado de batería del dron.

Fuente: <https://www.udocz.com/apuntes/306987/dji-go-4-manual-espanol>

Los parámetros “Critically Low Battery Warning” y “Low Battery Warning” son los dos parámetros importantes, el primero es cuando sea inminente el cambio y el segundo cuando empieza a descargarse respectivamente. El dron presentará un comportamiento automático (modificable en otros apartados), cuando esto suceda, el dron regresará automáticamente y será posible cambiar la batería.

## 5.5 PIX4D Capture Pro

Una vez se realice la configuración con la anterior aplicación móvil, se utilizará el software Pix4D Capture Pro. Esta aplicación móvil secundaria servirá para hacer del dron un instrumento para la topografía.



Figura 5-13. Logo PIX4D capture pro  
Fuente. Elaboración propia

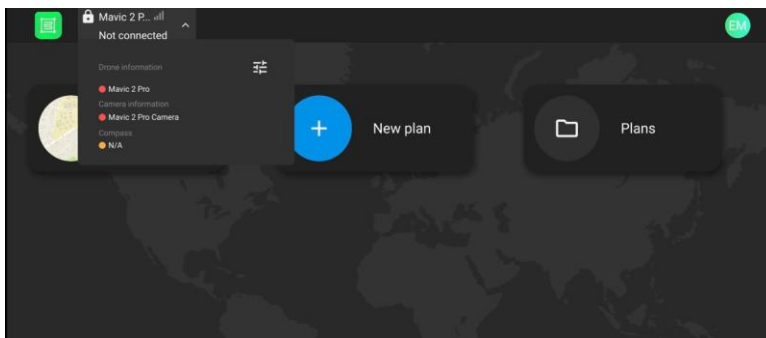
Pix4dCapture Pro permite planificar vuelos para topografía específicamente. En él es posible realizar estudios de objetos en 2D y 3D, por lo que es posible realizar un estudio topográfico en 3D. Se puede estudiar los siguientes objetos:

- Carreteras con sus diferentes curvas.
- Extensiones de terreno tanto en 2D y 3D.
- Edificios pequeños.
- Edificios altos, dependiendo del modelo del dron, alcanzan alturas de hasta 120 metros.
- Torres de comunicación.
- Torres de transmisión.

Con esto se pueden crear muchos vuelos para monitorear, planificar o inspección de estructuras y terrenos. Para el proyecto se utilizará el estudio de extensiones de terreno en 3D para obtener información adición de elevaciones. Es el componente 3D que permite capturar alturas con mayor precisión y significa que se tiene planimetría y altimetría del terreno con alta precisión.

### 5.5.1 Planificación de vuelo topográfico con Pix4d Capture Pro.

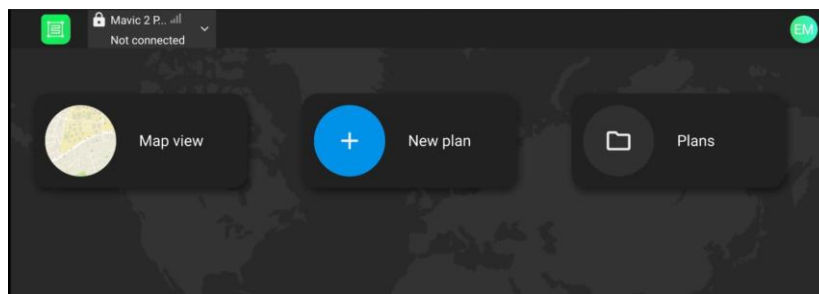
Abrir la aplicación, se debe contar con registro en la página oficial de la empresa suiza, esto se puede hacer fácilmente rellenando los requisitos.



**Figura 5-14. Registro oficial PIX4D**

Fuente. Elaboración propia

Una vez el registro esté hecho, revisar la conexión con dron como medida de seguridad y permitirá estar atento a apretar algún botón de comienzo que ponga en peligro la integridad del dron.



**Figura 5-15. Interfaz PIX4D**

Fuente. Elaboración propia

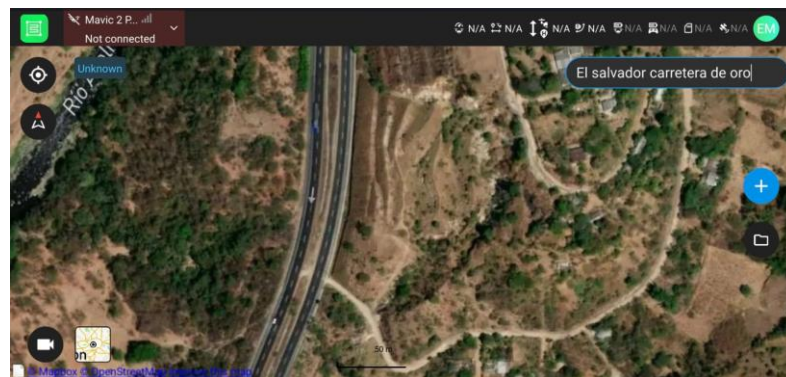
Seleccionar “Map View”. La opción “Plans” sirve para importar algún archivo o crear algún otro con otro nombre. También esta opción se abre por dentro de “Map View”, que es lo realizado en el proyecto.



**Figura 5-16. Configuración “Map View”**

**Fuente. Elaboración propia**

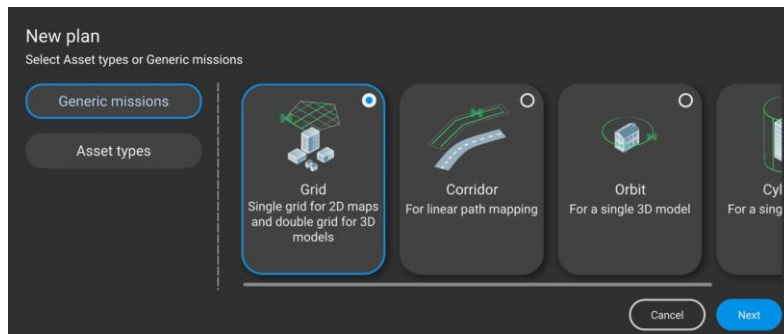
Aparecerá en un sitio al azar del mundo debido a las configuraciones iniciales de la aplicación móvil, por lo que habrá que dirigirse al cuadro de búsqueda y escribir el sitio de estudio, luego cerrar el cuadro de la derecha que indica la “grid#1” en caso de que esté abierta.



**Figura 5-17. Posicionamiento del terreno a estudiar en PIX4D**

**Fuente. Elaboración propia**

Posicionar una buena vista del terreno a estudiar y apretar el botón “+” de color azul para comenzar el segundo paso, en este caso la malla o grid con el que, a modo de franja, se colocará en el sitio de estudio.



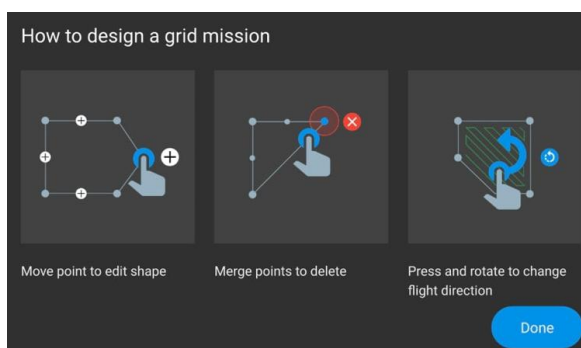
**Figura 5-18. Grids de PIX4D.**

**Fuente. Elaboración propia**

Aparecerán dos opciones generales de “grid” que son:

- “Generic Mission”: Esta opción permite tener vuelos sin un enfoque específico, es de uso general.
- “Asset Types”: Esta opción permite estudiar objetos sofisticados como torres de transmisión en los que de alguna manera tenga una importancia especial estudiar un componente de la estructura.

Se seleccionó para el proyecto de estudio Generec Missions seguido de “Grid-Single Grid for 3D Maps And doble grid for 3D models”



**Figura 5-19. Indicaciones generales de la grid**

**Fuente. Elaboración propia**

Aparecerá un cuadro que contenga indicaciones generales, apretar “Done”.



Figura 5-20. Franja que delimita el grid.

Fuente. Elaboración propia

Esta franja es la grid. Los segmentos de recta lisos y puntuados de color azul indican el trayecto que hará el dron para estudiar el sitio por encima de la franja. Los cuadrados blancos indican que se puede añadir un vértice a la franja, por lo que prácticamente es un polígono que debe ir ajustando.

Posicionar dicha franja en el sitio de interés, y observar detalladamente cuáles son los límites del estudio. Es importante tomar en cuenta los puntos de control que se colocaron con antelación, ya que deben quedar por dentro de la franja.

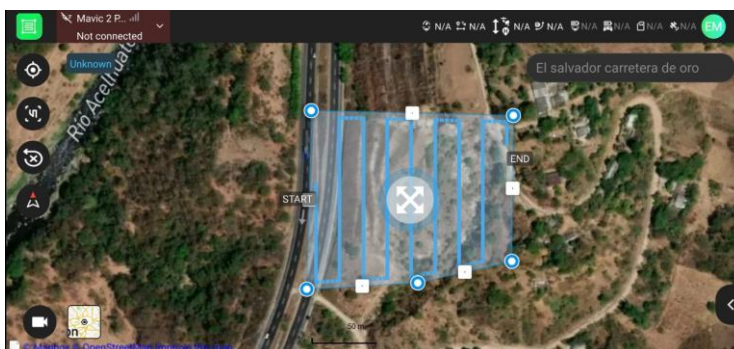
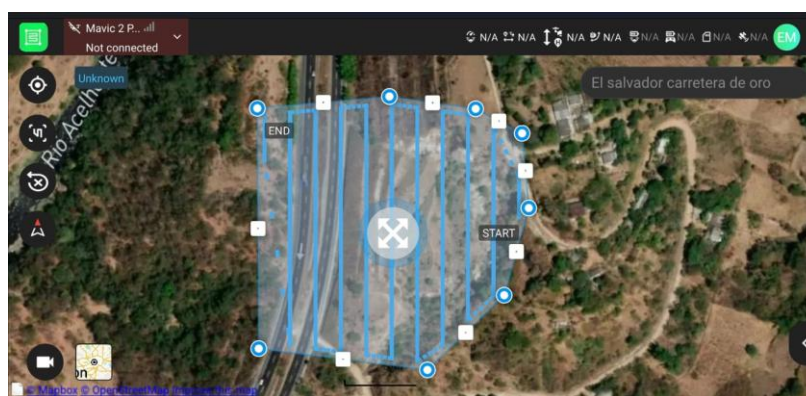


Figura 5-21. Ajuste de la grid en el terreno de estudio.

Fuente. Elaboración propia

Luego se debe ajustar por solapamiento, dejando márgenes al contorno del límite del estudio, debido a que, en las limitaciones del terreno a estudiar, solo un número reducido de fotografías saldrán claras. Esto ocurre porque el dron no puede capturar más allá de los límites que hemos puesto; por tanto, los alrededores tendrán una baja precisión.



**Figura 5-22. Ajuste por solapamiento**  
**Fuente. Elaboración propia**

Al ajustar el solapamiento de fotografías, el resultado será un área un tanto mayor al estudio, pero es lo indicado para tener una precisión alta al sitio de estudio. Muchas veces se puede aprovechar el solapamiento para tener más datos del terreno. Dentro del proyecto se observará parte de la Carretera de Oro y una parte del terreno aledaño a la ladera, en este caso es donde están ubicados los puntos PCF5 Y PCF6.

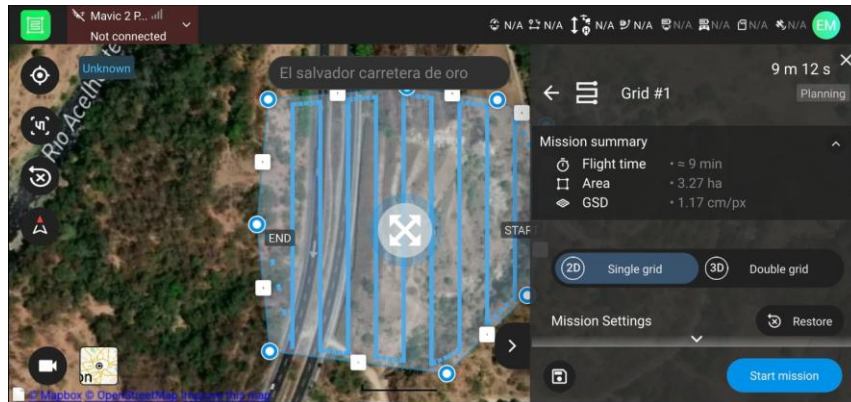
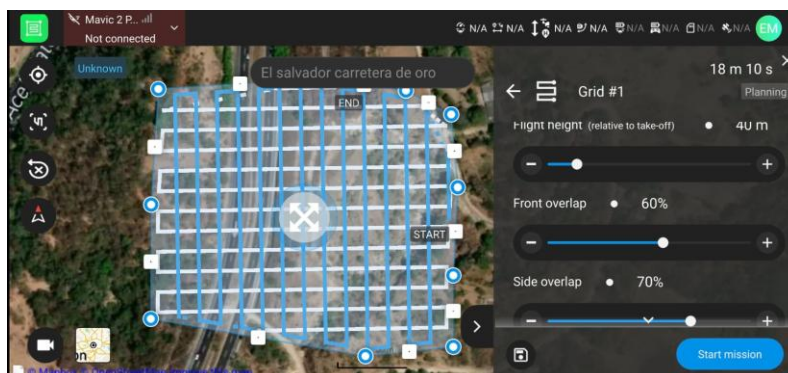


Figura 5-23. Opciones de la grid.

Fuente. Elaboración propia

Luego se despliegan las opciones de la Malla o Grid y se observan algunas opciones importantes que son:

- Mission summary: Permite observar el tiempo que tardará en realizar el vuelo, el área a topografiar en hectáreas.
- GSD: Es la forma en como un píxel o un punto medirá o abarcará con relación al terreno natural. Entre más pequeño sea dicho dato, mayor poder de precisión se tiene.
- Dos opciones 2D Single Grid y 3D Double Grid: Seleccionando 3D Double grid se capturará más fotografías para poder obtener un resultado más preciso.



**Figura 5-24. Ajustes finales de la grid.**

**Fuente. Elaboración propia**

El apartado “Flight height” indica la altura real a la que volará el dron, al colocar esta opción el dron tomará en cuenta esta altura para la fotogrametría y no la altura de la otra aplicación móvil DJI 4 GO.

Los apartados “Front Overlap”, “Side overlap” son lo que se conoce como solapamiento de fotografías en fotogrametría ajustado al criterio del operador, entre mayor solapamiento exista, mejor definición de objetos, también aumenta el número de fotografías y, por tanto, el tiempo de vuelo. Cabe aclarar que el comienzo y el final se muestran en la malla o grid. Esto es el comienzo para la toma de fotografías y no el comienzo en el cual estará el dron posicionado.

Una vez se tengan estos parámetros, y revisando si existe una conexión adecuada con el dron en uso, se seleccionará la opción “Star Mission”. De esta forma, el plan de vuelo empezará a ejecutarse. Es importante estar pendientes de esta etapa hasta completar el vuelo.

Una vez terminado el vuelo, el dron procederá a cargar todas las fotografías tomadas y serán guardadas en la carpeta que anteriormente se había escogido o, si él mismo, creará una automáticamente para cada vuelo.

## **CAPÍTULO 6: TRABAJO DE GABINETE.**

### **6.1 Procesamiento en Pix4Dmapper**

Una vez se han realizado los trabajos de campo, en los que se realizó el reconocimiento del lugar, los puntos de control, plan de vuelo, y mediciones de calidad, se realizará el procesamiento, o trabajo de gabinete.

Para ello utilizaremos el software Pix4dMapper 4.5.6 en su version demo, para realizar procesamientos de imágenes aéreas.

Básicamente, el procedimiento utilizado consiste en tres pasos bien delimitados en los cual, las fotografías aéreas serán corregidas y alineadas a fin de optimizar y alcanzar una calidad adecuada para producir ortomosaico, modelos digitales de terreno y modelos digitales de superficie. De estos se obtienen los datos más importantes concernientes a la investigación, como son curvas de nivel, área superficial, pendientes máximas o mínimas, nube de puntos clasificados, entre otros.

#### **6.1.1 Paso 1 o Procesamiento inicial**

En este paso, es donde se realiza la primera alineación de las fotografías y se procesan las correcciones más generales provenientes de la cámara del dron, esto es porque el dron puede producir giros en los tres ejes, variando en cada toma de fotografías, además el algoritmo del programa empieza a producir puntos mediante el principio de la restitución fotogrametría, el cual mediante dos fotografías y el solapamiento se deduce un punto en forma de píxell en el cual

por intersección de los haces de luz provenientes de la absorción del lente de la cámara, se empieza a construir puntos directamente que ya son parte de la superficie. Por lo tanto, este paso empieza a realizar ajustes y alineamientos que de entrada se puedan realizar sin ayuda extra de usuario. Se empiezan a encontrar coincidencias entre imágenes y calibraciones de cámaras y el resultado de este paso es una nube de puntos dispersos.

Este paso es el más importante, puesto que de él dependerán, los siguientes pasos que producirán resultados con calidad baja o resultados no esperados, como también la toma de decisión de realizar otro vuelo en el sitio de estudio.

### **6.1.2 Paso 2 o nube de punto y malla**

#### **Nube de puntos densa**

Debido a que ya se tenía una base de puntos producida por el paso anterior, el software comienza a producir una nueva nube de puntos mediante el principio de estéreo fotogrametría, que consiste básicamente en cómo los ojos humanos captan las profundidades de cada imagen. Con procedimientos físicos y matemáticos y a partir de diferentes fotografías y ángulos, comienza a producir nuevos puntos, mediante este proceso se identifican características distintivas del terreno y su respectiva correspondencia entre píxeles. Ya que el paso anterior produjo los puntos más inmediatos, se empieza a producir una nube de puntos sumamente densa, tanto que cada píxel empieza a ser analizado y es por ello

que este paso es entre los tres, el más tardado y el que más requiere recursos de procesamiento.

### **Malla 3D**

Debido a que las fotografías no pueden contener todos los puntos en sus respectivos ángulos, un punto puede que no exista en ninguna fotografía, y, por tanto, quedaran partes en el mosaico final inexistentes, es por lo que la forma de obtener estos puntos es con interpolación con los demás que se han obtenido del paso anterior y la de nube de puntos densa, este es un primer proceso que ocurren este paso, a fin de tener una representación superficial más fiel al observado en campo.

Además, ocurre un segundo procesamiento porque, a pesar de tener más puntos de parte de la nube densa, puede ocurrir que existan discontinuidades todavía, entonces en este paso el algoritmo del software comienza a generar una red de triángulos, puesto que por métodos matemáticos es una forma muy óptima de representar sólidos. Entonces se comienza a unir cada punto existente de tal manera que forme un triángulo, con el objetivo de que se logre “suavizar” el relieve y se tenga una mejor visualización de la superficie. Este proceso contribuye a texturizar más la superficie resultante.

De este modo, este segundo paso mejora grandemente la visualización y produce mediante datos interpolados para mejor análisis.

### **6.1.3 Paso 3 o MDS: Ortomosaicos e índices.**

Una vez obtenido una nube de puntos densa, en el que mediante el algoritmo del software determina y clasifica cada punto según sean edificios, vegetación, terreno etc., comienza el paso tres y último en el que se genera a partir de dicha información el Modelo Digital de Superficie (MDS), el ortomosaico e Índice

#### **6.1.3.1 Modelo Digital de Superficie (MDS)**

Es una representación en tres dimensiones de la superficie terrestre que abarca todas las características del sitio, incluye Estructuras artificiales, Vegetación, Objetos, Árboles, Caminos, etc.

El procedimiento es mediante interpolación basada en la nube de puntos densa además de que contienen coordenadas tridimensionales y en casos como la topografía estas coordenadas están georreferenciadas se produce como resultado un modelo de superficie adecuado para la planeación urbana, construcción, estudios ambientales, y cálculo de volúmenes.

#### **6.1.3.2 Ortomosaico.**

Es la imagen georreferenciada y geoméricamente corregida, en la cual participan todas las fotografías tomadas en el vuelo, de tal manera que mediante el solapamiento se genera una imagen que abarca fielmente la naturaleza física del terreno, además a partir del Modelo Digital de Superficie, el software realiza correcciones en cada píxel de tal que cada píxel corresponda a una coordenada exacta en el mundo real.

De esta manera se obtiene una fotografía, aérea total en la que se puede utilizar, mediante procedimientos topográficos y de dibujo técnico, cartografía precisa, mapas detallados con precisión, análisis agrícolas, y sobre todo proyectos de ingeniería.

## 6.2 Procesamiento de la ladera carretera de Oro en marcha.

### 6.2.1 PASO 1

Abrir un nuevo proyecto, colocar el nombre del proyecto que para este caso es “PROYECTO\_FINAL\_VUELO\_2”

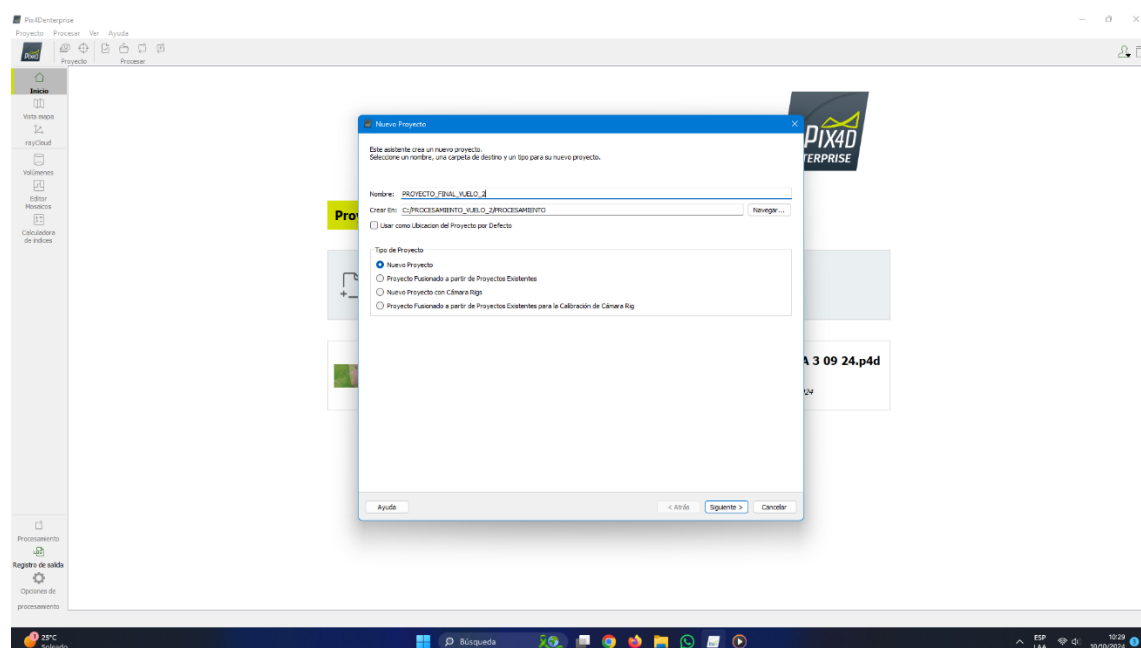


Figura 6-1. Proyecto nuevo PIX4DMAPPER (Versión Estudiantil)

Fuente. Elaboración propia

Seleccionar “Siguiendo”, posteriormente añadir las fotografías del vuelo en la opción “Añadir Directorios”.

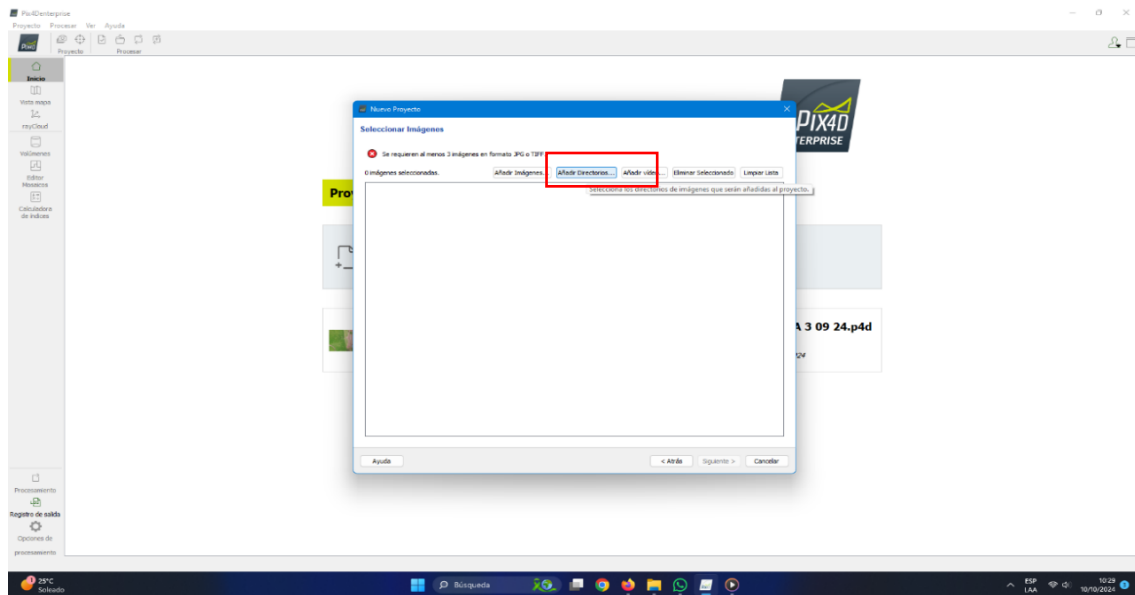


Figura 6-2. Añadir directorios PIX4DMAPPER

Fuente. Elaboración propia

Buscar los datos obtenidos en el proyecto. Para este caso, es la carpeta es llamada “FOTOGRAFIAS VUELO 2”

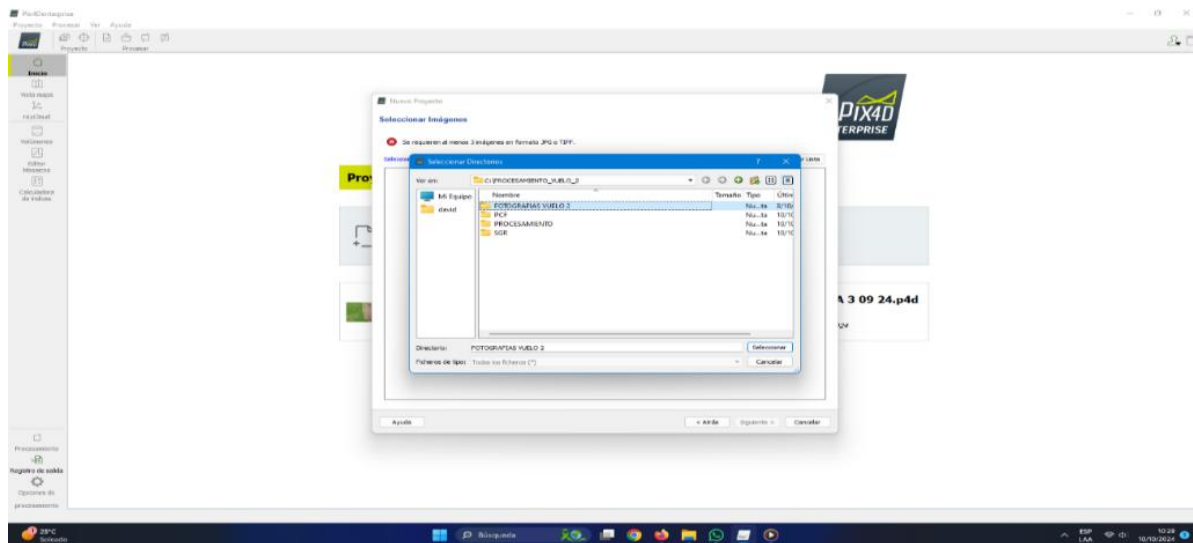


Figura 6-3. Búsqueda de datos PIX4DMAPPER

Fuente. Elaboración propia

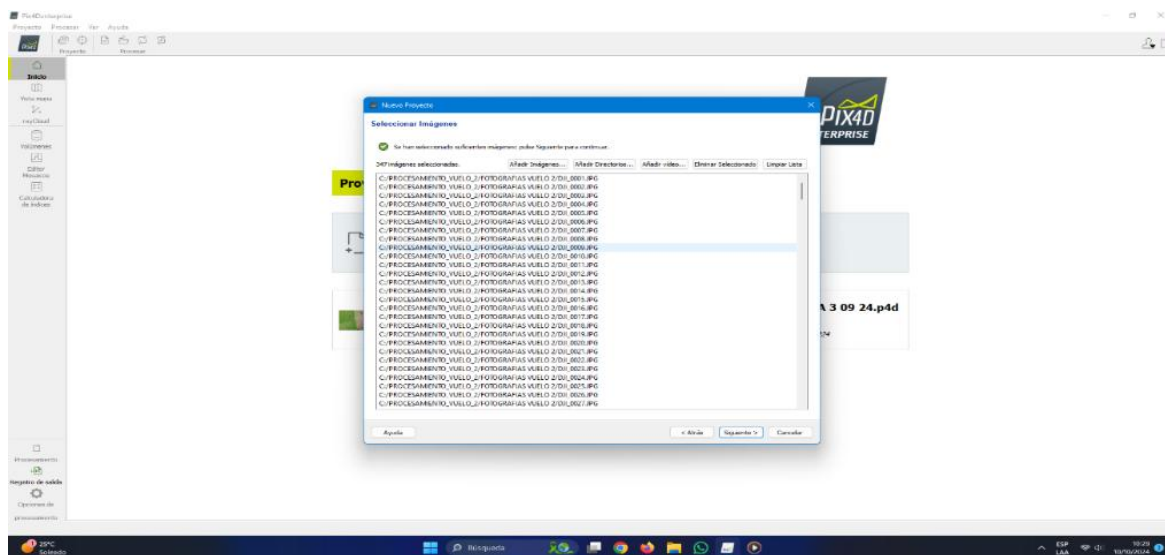


Figura 6-4. Búsqueda de datos PIX4DMAPPER

Fuente. Elaboración propia

Luego se procede a apretar “Siguiete”, en este punto se observa cómo están cargadas todas las fotografías, además se observa que posean una coordenada georreferenciada específica, en este caso WGS-84 y un modelo de geoides denominado EGM 96, como también el estilo de cámara utilizada en este caso LID-20C\_10.3\_5472x3648 (RGB).

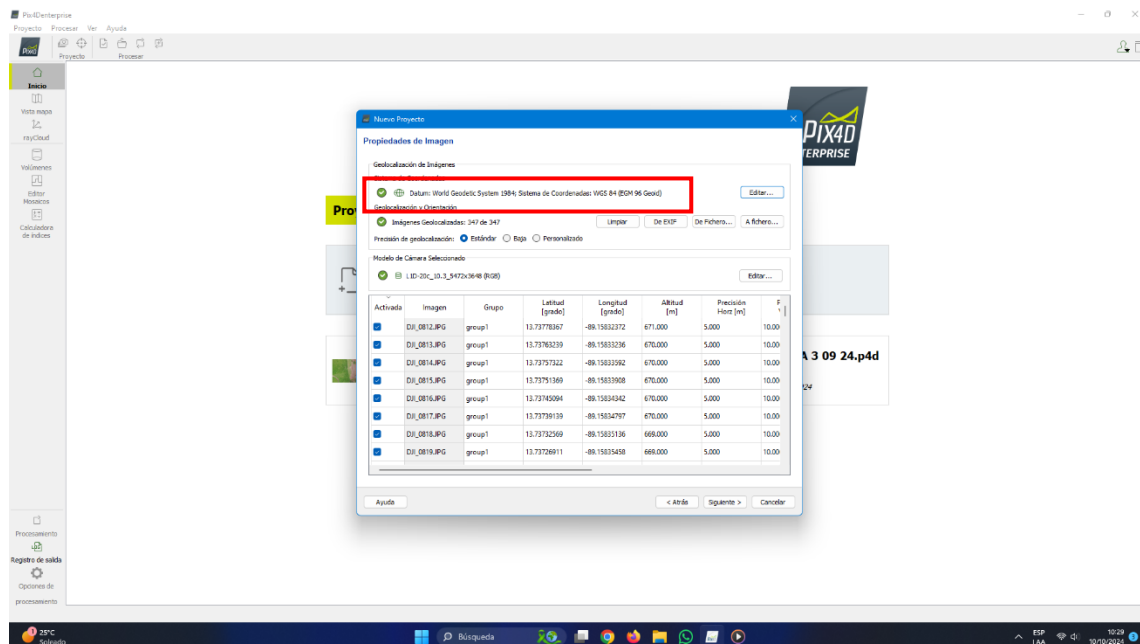
**LID-20C:** Es el modelo o tipo de cámara.

**10.3:** Longitud focal de la cámara en milímetros, un valor que influye en el campo de visión y en la distancia de vuelo óptima para capturar imágenes.

**5472x3648:** Este es el tamaño de la imagen o resolución en píxeles que la cámara puede capturar. En este caso, la resolución es de 5472 píxeles de ancho por 3648 píxeles de alto, lo que significa que produce imágenes de alta resolución.

**RGB:** Indica que la cámara captura imágenes en los canales rojo, verde y azul, es decir, produce imágenes en color (RGB, por sus siglas en inglés).

Además, dice cuántas fotografías fueron tomadas, en este caso 347.



**Figura 6-5. Propiedades de imágenes**  
Fuente. Elaboración propia

Se selecciona el botón “Siguiente”, en este caso se obtiene el sistema de coordenadas de salida. Para este proyecto, se buscó el sistema LAMBERT SIRGAS-2007, guardado en un archivo con formato “.prj” debido a que el software no tiene registrado de fábrica este sistema de referencia, en su lugar tiene el sistema UTM ZONA 16 N, que corresponde a El Salvador, pero que no es el que se mantiene en uso.

Para cambiar, se selecciona “Sistema de coordenadas conocido”, luego en “Desde prj” y habrá que buscar el archivo “. prj” donde previamente se asignó la configuración para el sistema LAMBERT SIRGAS-2007,este sistema solo abarca por definición coordenadas X, Y o sea coordenadas planas. Es necesario también tener un sistema de coordenadas vertical para ello, se hace uso del modelo de geoide que a la fecha se tiene disponible, es el EGM 2008 en el cual el software ya tiene añadido, para ello se da clic en “Sistema de coordenadas vertical” y luego en la pestaña, se abre y se desglosa los modelos de geoide disponibles escogiendo “EGM 2008 Geoid” para obtener una elevación en Z adecuada al proyecto. Con esto se finaliza la primera configuración para comenzar ya el proceso general descrito anteriormente.

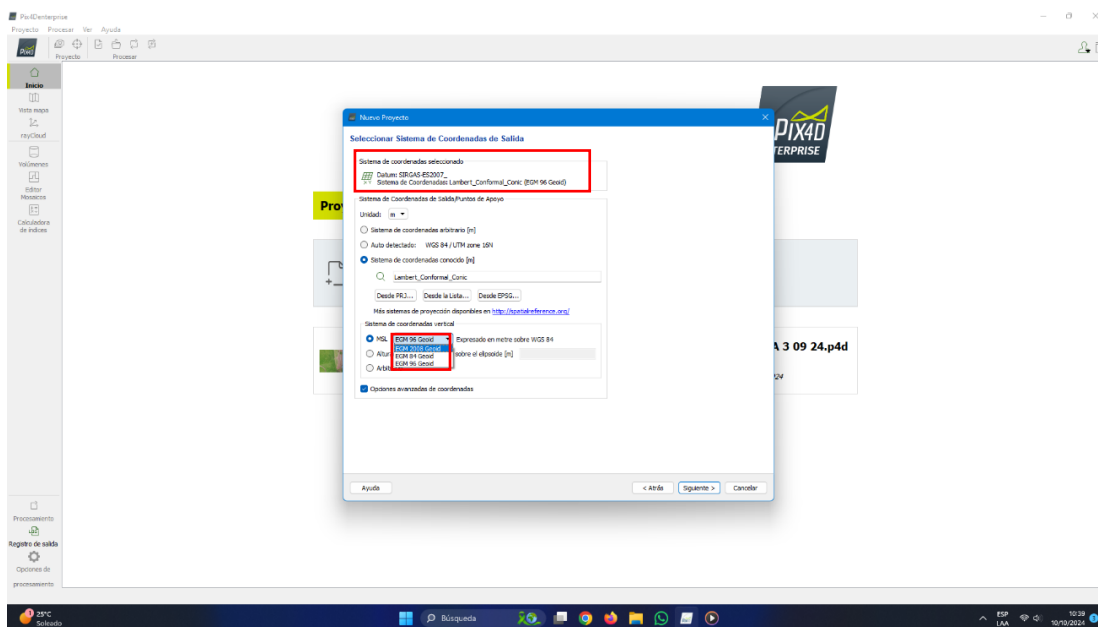


Figura 6-6. Configuración de sistema de coordenadas de salida PIX4DMAPPER

Fuente. Elaboración propia

Luego, aparecerá una imagen como la siguiente:

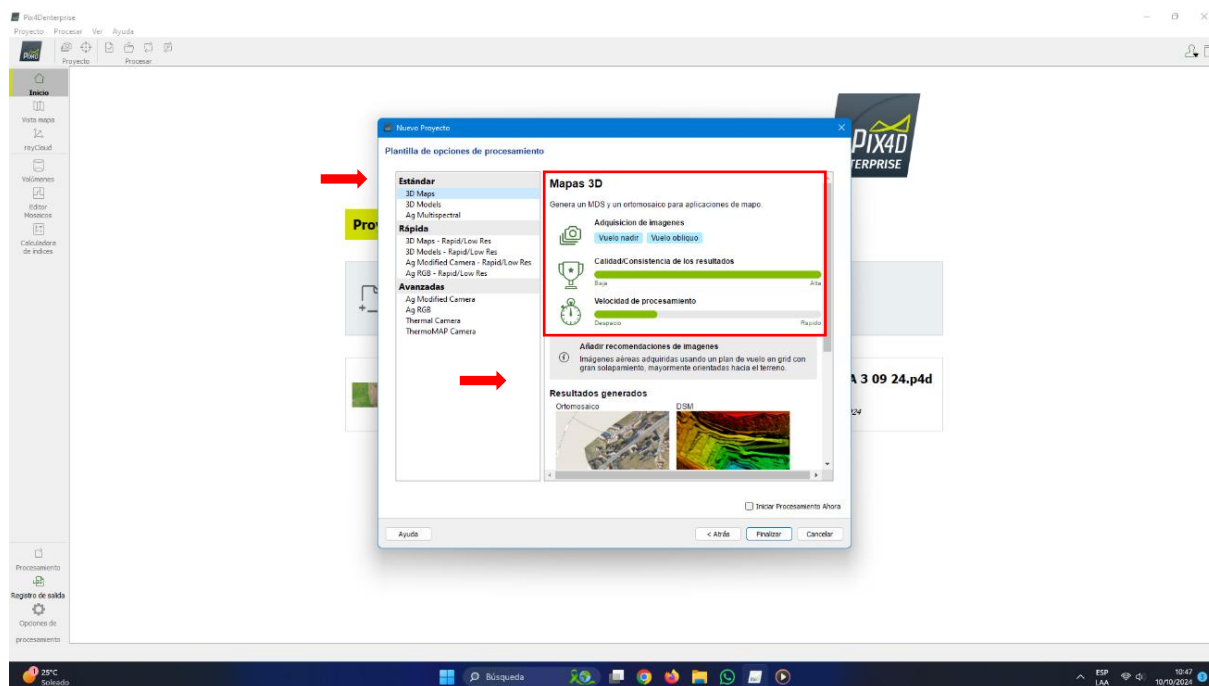


Figura 6-7. Plantillas PIX4DMAPPER

Fuente. Elaboración propia

Se puede observar que, en esta parte, el software presenta diferentes “Plantillas” que no son otra cosa que productos o resultados de un procesamiento. El de interés en esta oportunidad es el 3D Maps que para estudios en Ingeniería Civil es bastante adecuado. Su característica es que, luego del procesamiento general, produce un Modelo de Digital de Superficie (DSM), un ortomosaico, una nube de puntos, y una malla en 3D, del cual se obtendrán los datos necesarios para el estudio.

Para el estudio es importante mencionar que existe un pequeño botón en el apartado de abajo al lado derecho, que dice “Iniciar procedimiento ahora”, este detalle es de suma importancia debido a que el software permite realizar un análisis de los tres pasos descritos anteriormente sin intervención del usuario y

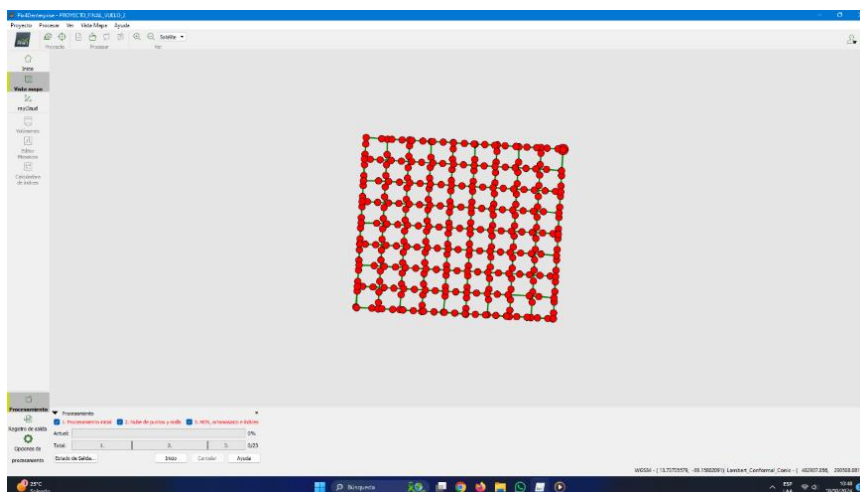
para mejorar el resultado es necesario que el profesional en esta área de estudio dedique un tiempo prudente para analizar cada paso, es por eso que se deshabilitara dicho botón.

Sin embargo, para citar unos ejemplos de las demás plantillas se tiene:

- 3D Models (Estándar): Crea modelos 3D detallados a partir de imágenes. Se usa comúnmente para reconstrucciones visuales de áreas y objetos.
- Ag Multispectral (Estándar): Procesa imágenes multiespectrales capturadas con cámaras especializadas para análisis agrícola, generando índices como NDVI.
- 3D Maps - Rapid/Low Res (Rápida): Genera mapas 3D rápidamente, pero con menor resolución y calidad. Ideal para obtener resultados preliminares en menor tiempo.

Todavía hay más. El software permite una amplia gama de plantillas, todas con otras aplicaciones en diferentes áreas de estudio

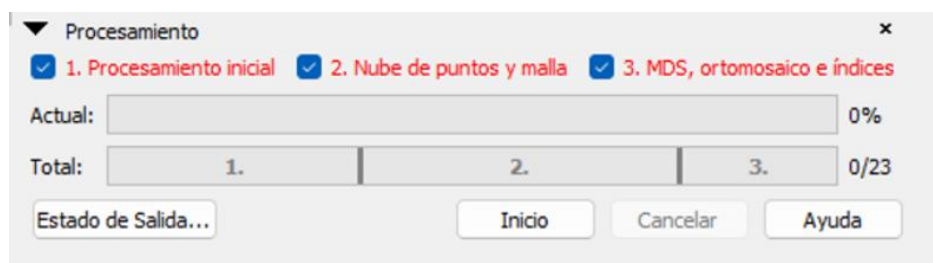
Una vez seleccionado la plantilla “3D Maps“ y deshabilitar el botón “Iniciar procedimiento ahora “, se muestra la siguiente imagen, en el que se puede observar el recorrido y forma que realizo el dron en el vuelo, cada punto rojo es una imagen que puede ser visualiza al pulsarla, el color rojo indica que no ha sido procesada con éxito y, por tanto, este es el punto inicial de todo proceso.



**Figura 6-8. Recorrido del dron en PIX4DMAPPER**

Fuente. Elaboración propia

En esta pantalla se pueden observar abajo, en el lado izquierdo, los tres pasos del procesamiento descritos anteriormente. El color rojo de las letras indica que todavía no se ha procesado dicho proyecto.

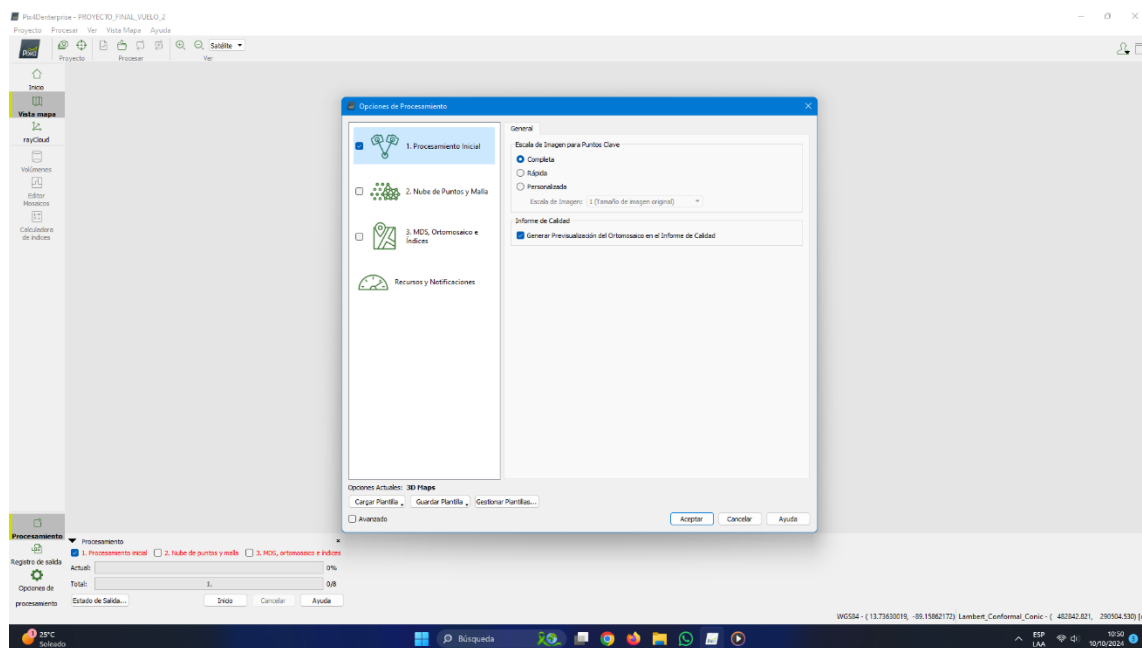


**Figura 6-9. Configuraciones de procesamiento PIX4DMAPPER**

Fuente. Elaboración propia

Es necesario deshabilitar los dos siguientes pasos a fin de que solamente se ejecute uno de ellos, esto es, el “Procesamiento inicial”

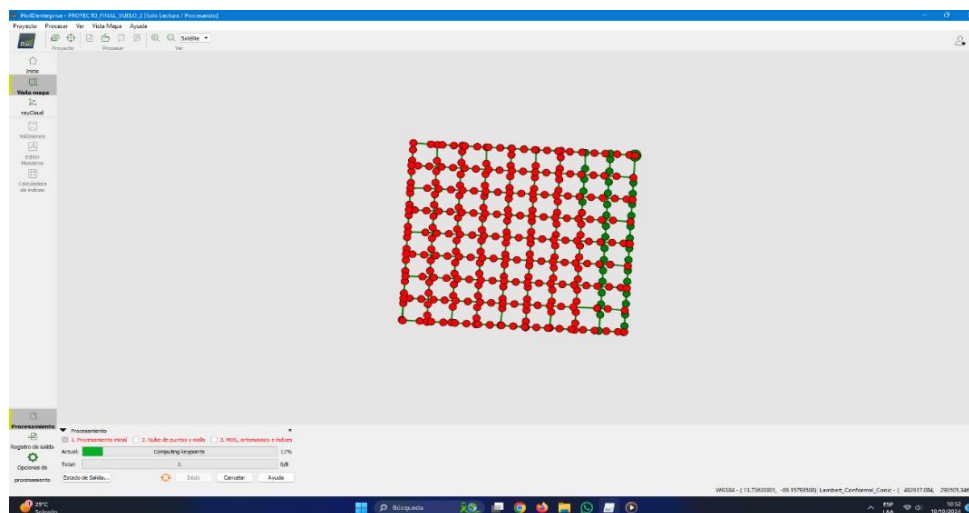
Ahora se procederá a darle clic en el botón “Opciones de procesamiento”



**Figura 6-10: Opciones de procesamiento PIX4DMAPPER**

**Fuente. Elaboración propia**

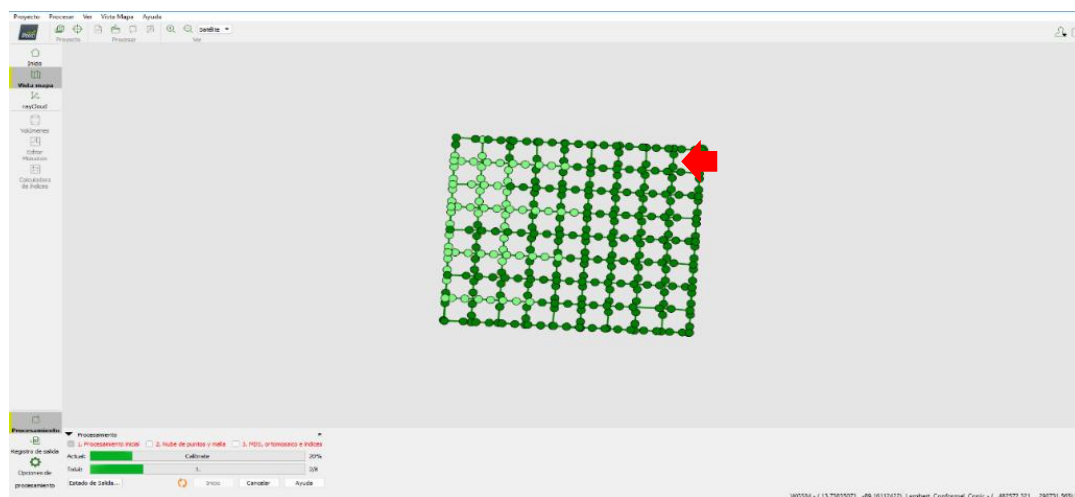
En esta parte aparecerá un cuadro en el que se aprecian los tres pasos descritos anteriormente. Dejar habilitada la opción que dice “Completa” en el apartado “Escala de imagen para puntos clave”, luego seleccionar “Aceptar” y luego el botón “Inicio” y comenzará el PASO 1.



**Figura 6-11. Alineamiento y correcciones PIX4DMAPPER**

Fuente. Elaboración propia

En este paso se aprecia cómo los puntos empiezan a cambiar de color, indicación que es debido al alineamiento y correcciones propias de este paso.



**Figura 6-12. Finalización de alineamiento y corrección PIX4DMAPPER**

Fuente. Elaboración propia

Una vez terminado este procesamiento, se puede generar un reporte inicial en opción donde dice “Procesar” en la zona de arriba, izquierda de la interfaz, donde dice “Generar informe de calidad”. Esto tardará un poco, posteriormente arrojará

un informe de calidad, al darle en la opción “Informe de calidad”, pero para dar un correcto análisis, y buscar el error “RMS” resultante, primero se colocarán los puntos de paso y los puntos de control fotogramétrico.

### **Puntos de paso y 3D puntos de apoyo.**

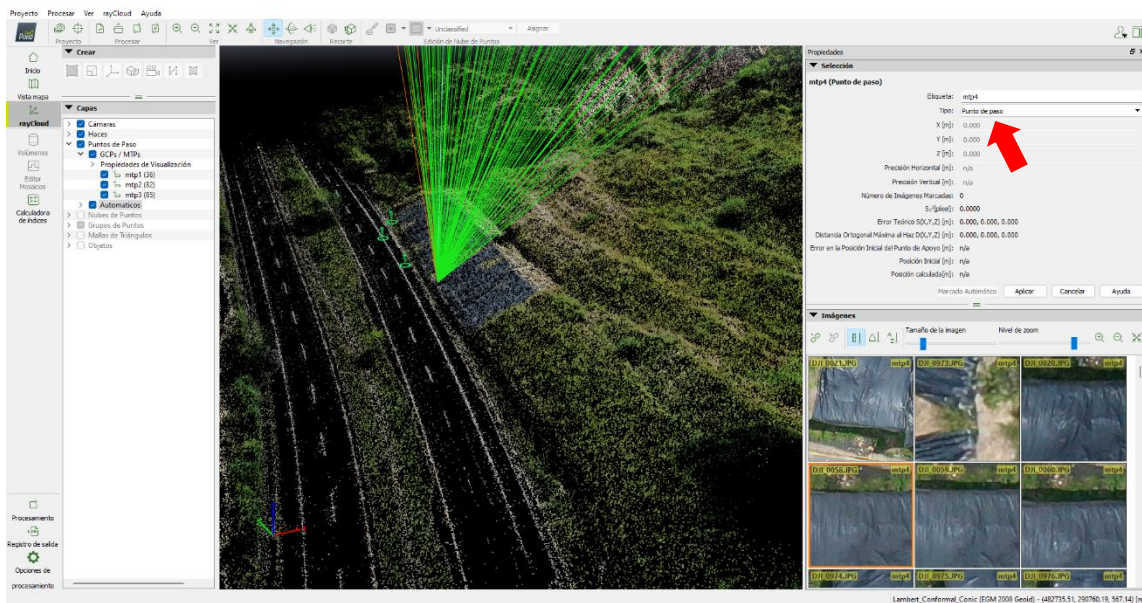
El punto de paso o Punto de apoyo, también conocido en inglés “Manual Tie Point” (MTP), son puntos sobre la superficie foto identificable o son visibles por varias imágenes y de reconocer puntos de alineación extras, con el fin de “ayudar” a la evaluación y mejorar la precisión de la reconstrucción final, es como si, se aportara desde el punto de vista del usuario mediante el estudio detallado del terreno, características que se saben son identificables fácilmente como por ejemplo: esquinas de estructura, puntos medios de alguna figura, manchas, figuras como alcantarillas, fisuras en los suelos, a veces se encuentran objetos como basura, escombros, entre otros. El objetivo se debe encontrar una señal, forma, o característica que al menos sea foto identificable claramente, con dos imágenes que se tengan como requisito el mismo objeto identificado y que coincidan de forma próxima desde diferentes ángulos. El software encuentra todas las demás fotografías que cumplan esa condición a fin de crear un punto en el que el máximo número de fotografías queden alineadas, de este modo se contribuye a mejorar el resultado.

Los 3D puntos de apoyo también son conocidos como Puntos de Control Fotogramétricos (PCF), aunque en el programa su definición sea como puntos

de apoyo en 3D nada más. Hay que aclarar que estos puntos son agregados al proyecto porque son el requisito por excelencia para poder georreferenciar totalmente el proyecto, es como si se tratase de “mojones aéreos” pero para uso de drones en topografía estos “mojones aéreos” deben ser calculados por métodos geodésicos o topográficos de tal manera que dicho punto quede totalmente con coordenadas planas y elevación (X, Y, Z), para que por este medio el dron detecte que dichos puntos son conocidos, y pueda georreferenciar y alinear correctamente, esto contribuye grandemente a mejorar la calidad y la precisión del resultado final. Para el proyecto se utilizó la técnica NTRIP para calcular dichos PCF, con una precisión de hasta 0.007 m de error que es adecuada para servir de PCF. Estos datos se guardaron en formatos .CSV o .txt para posteriormente ser procesados en fotogrametría.

Los PCF deben contar con una marca, así como trompos de madera y clavos son a la estación total, al teodolito, las dianas son para drones y su uso en fotogrametría normalmente miden 50cmx50cm, pero el objetivo es ser identificables en las fotografías, estas dianas no deben ser modificados en el terreno hasta que el vuelo haya finalizado, esto es porque ayuda a identificar al dron estos puntos conocidos en campo, se deben poner tantas dianas como puntos PCF se coloquen, normalmente se recomienda poner entre 2,4,6 puntos PCF según las dimensiones del terreno.

Ahora, se colocarán puntos de apoyo como se muestra en la imagen siguiente:



**Figura 6-13. Colocación de puntos de apoyo en PIX4DMAPPER**  
Fuente. Elaboración propia

Para esta investigación se colocaron varios puntos de paso debido a la dificultad del terreno y al ángulo incidente de los rayos del sol, los puntos no quedan distribuidos uniformemente, pero es preferible lograr esta simetría, tanto más simétrico y tantos más puntos auténticos se encuentren, mejor quedará dicho resultado. Es de hacer notar que, en el procedimiento para lograr una alineación y corrección correcta, se llega a que un número mayor de puntos de paso no logra mejorar más los resultados. Esto es debido a que las correcciones son muy sutiles.

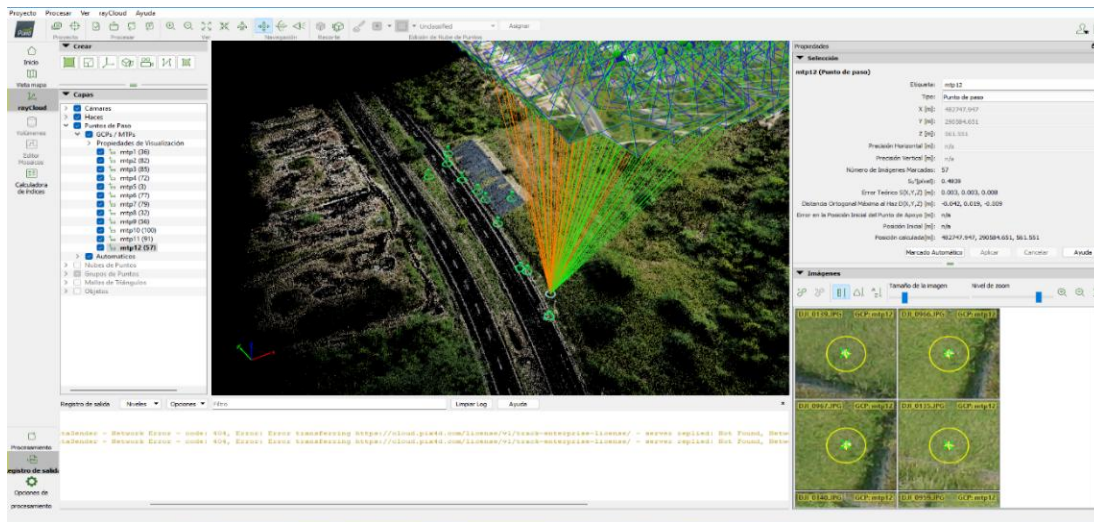


Figura 6-14. Puntos de paso PIX4DMAPPER

Fuente. Elaboración propia

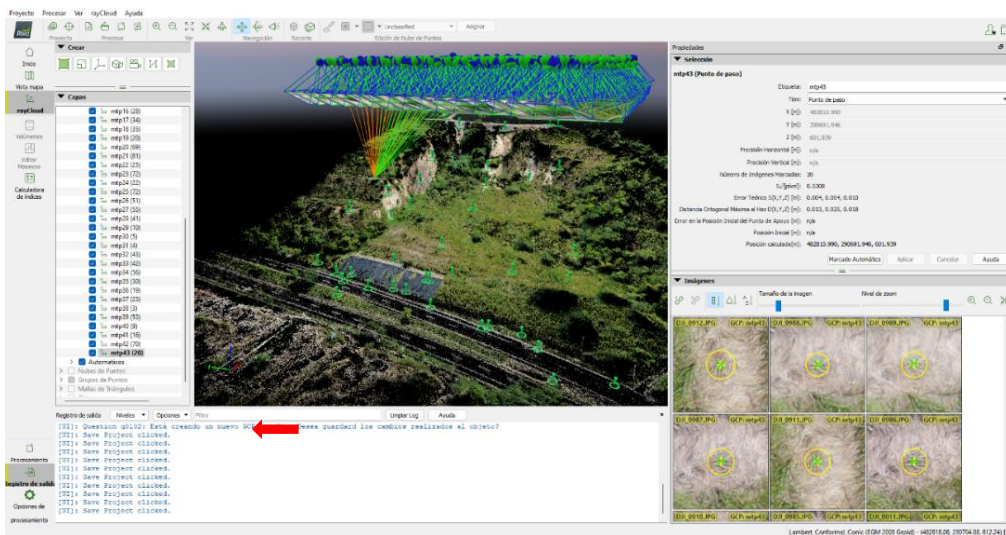


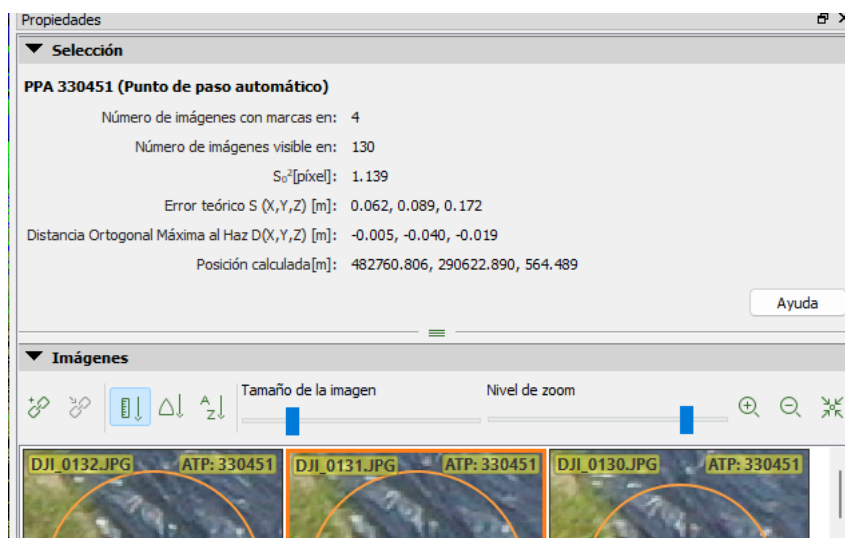
Figura 6-15. Punto de paso PIX4DMAPPER

Fuente. Elaboración propia

En estas fotografías se aprecia a ver el número de puntos de pasos. Para este caso dice “MTP” y adentro contiene un número preciso de fotografías, entre

paréntesis, estas son el número de fotografías que contienen el mismo punto identificable en el terreno.

Para colocar un punto de paso, se selecciona un punto en el modelo 3D del software y mostrará una fotografía.

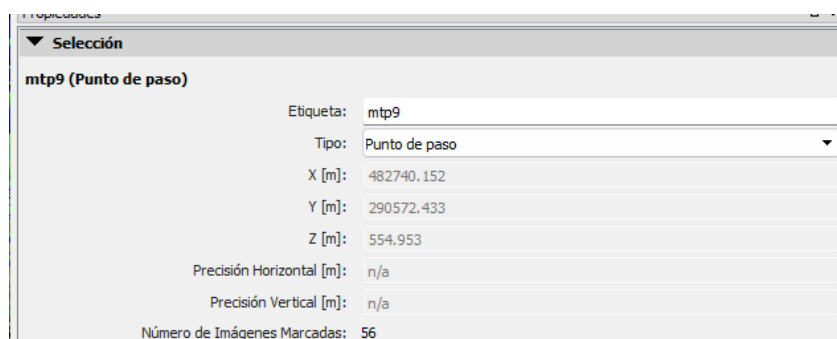


**Figura 6-16. Selección de un punto en el modelo 3D en PIX4DMAPPER**

Fuente. Elaboración propia

Se seleccionan al menos dos fotografías lo que contienen en común y sea identificable y el símbolo de las cuatro flechas, esto permitirá que se identifiquen todas las fotografías que contengan dicho punto desde cualquier ángulo siempre y cuando sea captado, se selecciona el ícono que parece una cadena con un número “+” y se empieza a marcar el mismo objeto, no se debe colocar una fotografía que contenga un aspecto poco visible y satisfactorio para la visión, muchas veces las fotografías aparecen encima otro objeto que obstaculiza la

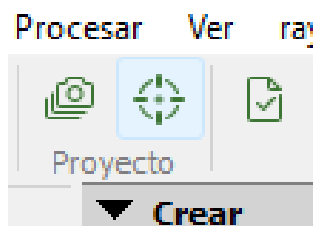
visión del objeto buscado y, por tanto, el proceso va a producir una corrección errónea, posteriormente se selecciona el botón “Aplicar”, y este proceso se repite, también se puede comprobar un punto de paso, cuando en las opciones en la pestaña “Tipo”, dice “Punto de paso” para garantizar que será reconocido como punto de paso.



**Figura 6-17. Punto de paso PIX4DMAPPER**

Fuente. Elaboración propia

De manera similar. se pondrán los puntos PCF. Para ello, se debe cargar el archivo donde se tengan las coordenadas y se selecciona el botón que dice “Gestor GCP/MTP”



**Figura 6-18. Selección de gestor CPG/MTP PIX4DMAPPER**

Fuente. Elaboración propia

Aparecerá esta pantalla

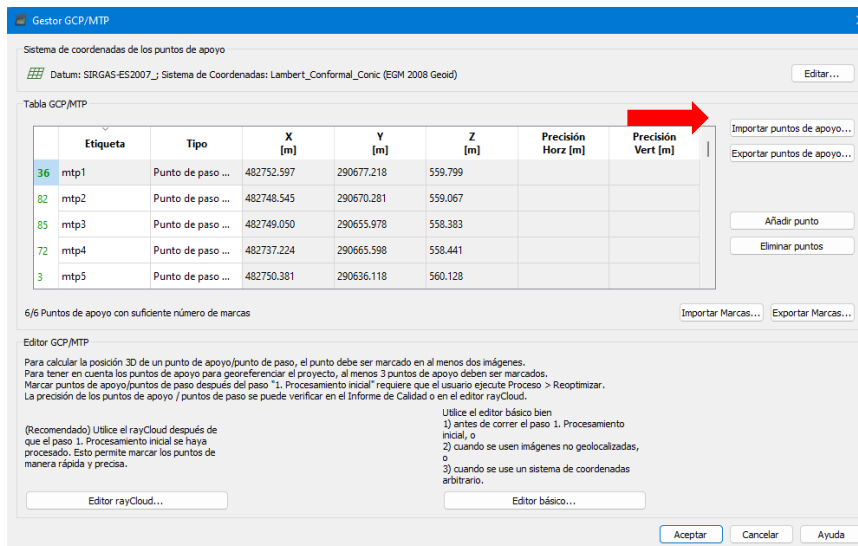
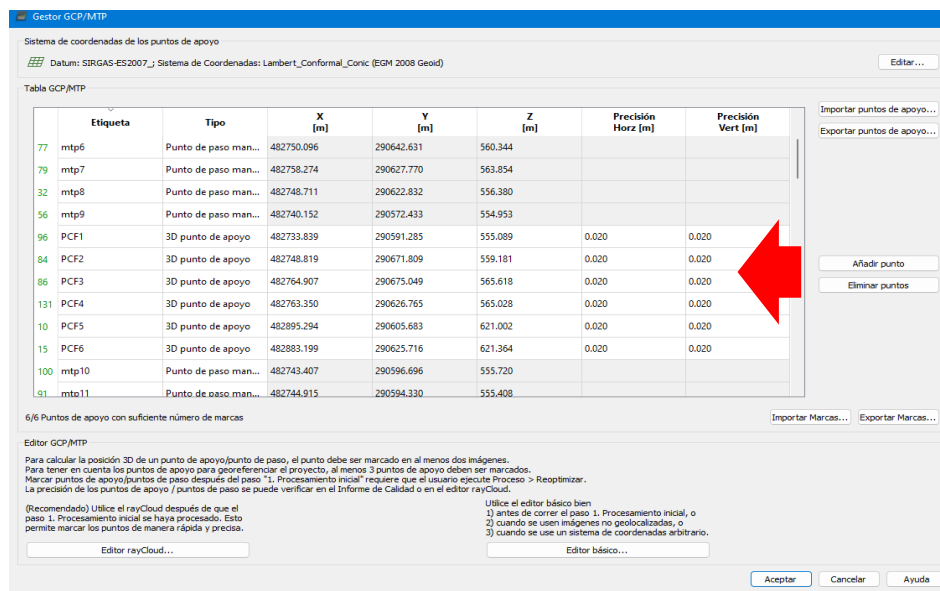


Figura 6-19. Gestor CPG/MTP PIX4DMAPPER

Fuente. Elaboración propia

Seleccionar "Importar Puntos de apoyo", aparecerá una pestaña donde indicará la forma "X, Y, Z" esta debe estar alineada con los datos tomados en campo, debe presentarse primero la coordenada "x" luego "y" por último la elevación "z", el programa reconocerá automáticamente la etiqueta de la coordenada al comienzo, por tanto, el formato definitivo será "N, X, Y, Z," donde N será la etiqueta o nombre del punto tomado. Posteriormente, se selecciona "Explorar", se busca el archivo .cvs o .txt, automáticamente serán reconocidos y colocados entre los puntos de paso (mtp) como se muestra:



**Figura 6-20. Importación de puntos de apoyo PIX4DMAPPER**  
 Fuente. Elaboración propia

Luego de haber colocado los puntos PCF, se procederá a identificarlos manualmente en el software, se busca las dianas que se colocaron en el terreno solo que, a diferencia de los puntos de paso, no se utilizará la opción de los puntos de paso, sencillamente se colocará cada punto correspondiente en donde al menos dos fotografías tengan la diana marcada, se buscarán las imágenes coincidentes como se muestra:



Figura 6-21. Se muestra la apariencia del icono “Foco en la selección” en PIX4DMAPPER.

Fuente. Elaboración propia

Se da clic en “Foco en la selección” para identificar las demás fotografías y se comienza a centrar cada foto dando clic en ellas como se muestra:

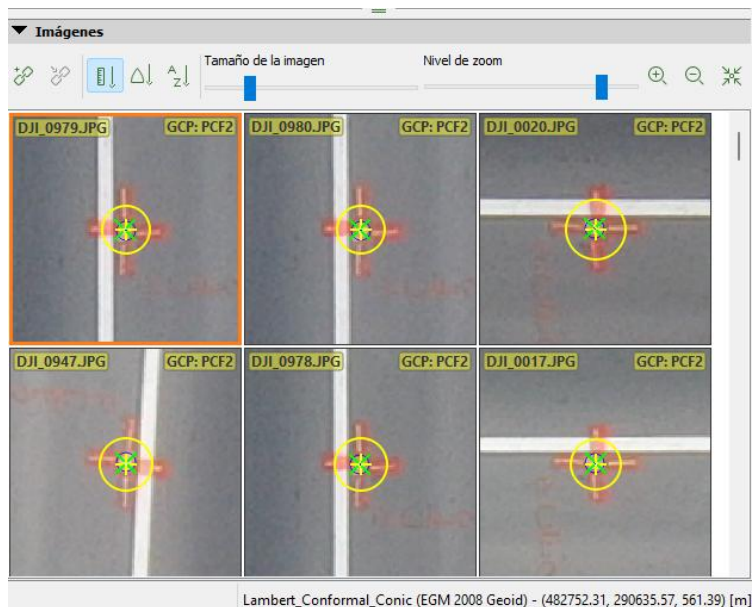


Figura 6-22. Se muestra el punto “PCF 2” en varias fotografías aéreas pertenecientes al dron.

Fuente. Elaboración propia

Se seleccionarán todas las fotos posibles que queden identificables como las marcas PCF en terreno, y se colocarán encima de la coordenada, de modo que queden las más justas posibles. Este proceso se repite con cada PCF en campo.



Figura 6-23. Colocación de coordenadas para PCF 1 en diferentes fotografías aéreas pertenecientes al dron.

Fuente. Elaboración propia

Se presentará un par de puntos y la manera de colocar cada fotografía a modo de ejemplo. Para los puntos PCF 3, PCF 4, se utilizaron rocas considerables que, por su forma, son adecuadas para ser marcadas con pintura a modo de diana, con forma de X o Cruz.

Debido a la dificultad del terreno, colocar banderas o dianas reales, resultaba difícil por la estabilidad del terreno, el viento y la lluvia, ya que como es una ladera, está expuesta a una mayor inclemencia.



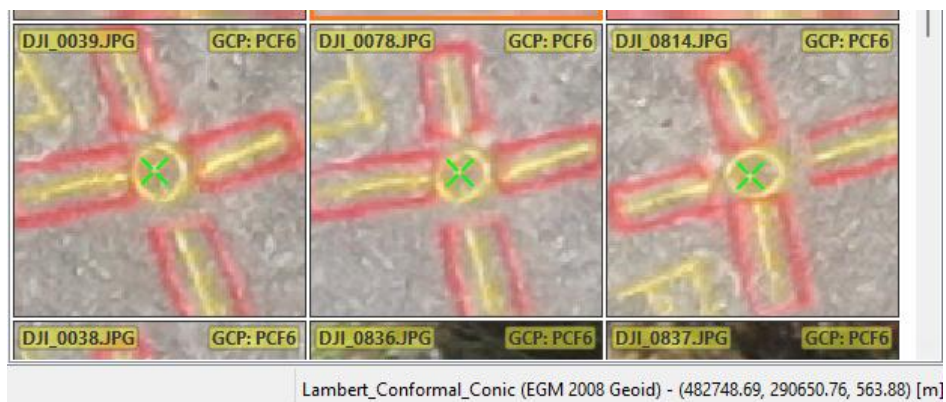
Figura 6-24. Colocación de coordenadas para "PCF 4" en diferentes fotografías aéreas pertenecientes al dron.

Fuente. Elaboración propia

Se mostrarán los puntos que se colocaron encima de la ladera. Para acceder a estos puntos se rodeó la ladera hasta llegar a un mirador donde, por estrategia, se colocaron los puntos PCF 5 Y PCF 6, como se muestra.



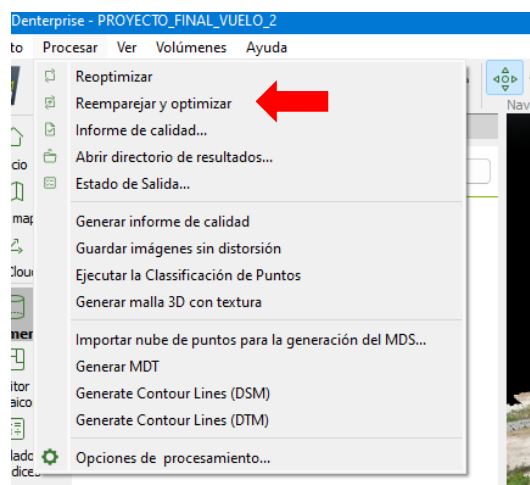
**Figura 6.25. Colocación de coordenadas para PCF 5 en diferentes tomas aéreas**  
Fuente. Elaboración propia



**Figura 6-26. Colocación de coordenadas para PCF 6 en diferentes tomas aéreas**  
Fuente: Elaboración propia

Una vez colocados todos los puntos PCF, habrá que reemparejar todo el esfuerzo manual que se realizó en todas las fotografías para ello se clicea en “Procesar”, luego en “Reemparejar y optimizar”, esto se realiza para mejorar el resultado del

primer paso, aparte del que ya hace por defecto el software. Esto permite revisar cuál ha sido el resultado final del “RMS error”.



**Figura 6-27. Reemparejar y optimizar PIX4DMAPPER**

Fuente. Elaboración propia

Al terminar el “Reemparejar y Optimizar“, se revisa el informe de calidad.

Quality Check <span style="float: right;">?</span>		
Images	median of 70811 keypoints per image	✓
Dataset	347 out of 347 images calibrated (100%), all images enabled	✓
Camera Optimization	2.75% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	✓
Matching	median of 26465.2 matches per calibrated image	✓
Georeferencing	yes, 6 GCPs (6 3D), mean RMS error = 0.014 m	✓

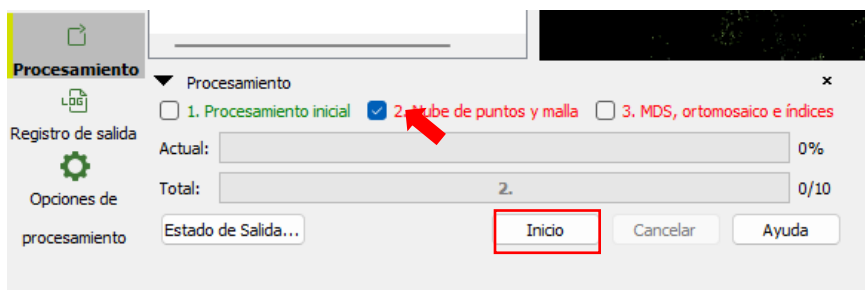
**Figura 6-28. Informe de calidad PIX4DMAPPER**

Fuente. Elaboración propia

Como se observa, el error es 0.014 m, que para uso topográfico es adecuado. En otros casos, el software mostrará un símbolo de admiración o una “X”, en el cual se indica que el error no está en los rangos permitidos. Es aquí el momento de pasar al paso 2.

## 6.2.2 PASO 2

Para el paso 2 se deshabilitan el primero y el tercero de los botones del procesamiento general y se habilita el segundo como se muestra

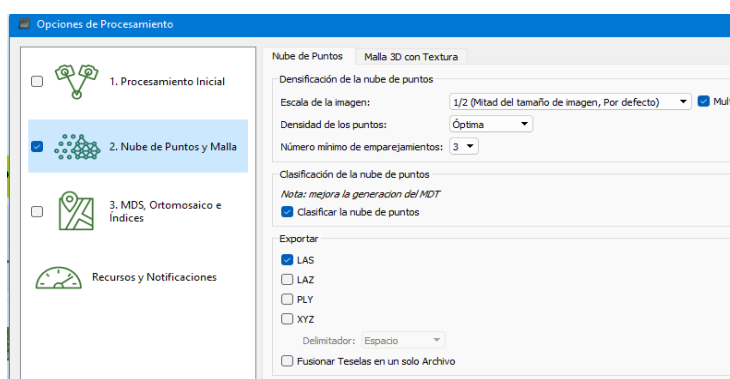


**Figura 6-29. Paso 2 PIX4DMAPPER**

Fuente. Elaboración propia

El paso 1 se muestra en verde porque ya se realizó. Faltan los dos restantes, luego se clic en la opción “Opciones de procesamiento”

Se deshabilitan el primero y el tercero, y se habilita únicamente el segundo, como se muestra.



**Figura 6-30. Opciones de procesamiento PIX4DMAPPER**

Fuente. Elaboración propia

En esta parte se muestran las opciones de procesamiento. Es importante enfatizar la clasificación de nube de puntos. Se clic en el botón que dice

“Clasificar la nube de puntos”. Mediante la clasificación se distinguen los objetos y superficie, todavía es más importante en terrenos donde hay muchas edificaciones o construcciones, con ello es posible determinar las curvas de nivel en el Modelo digital, el Software hace un reconocimiento y clasificación como se muestra a continuación:

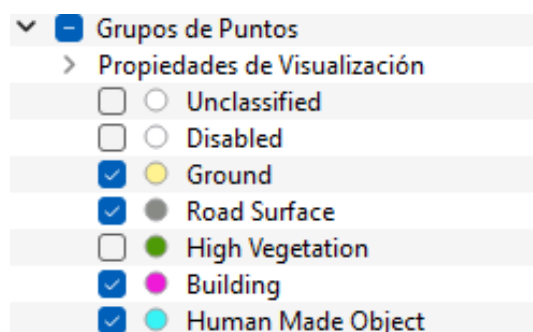
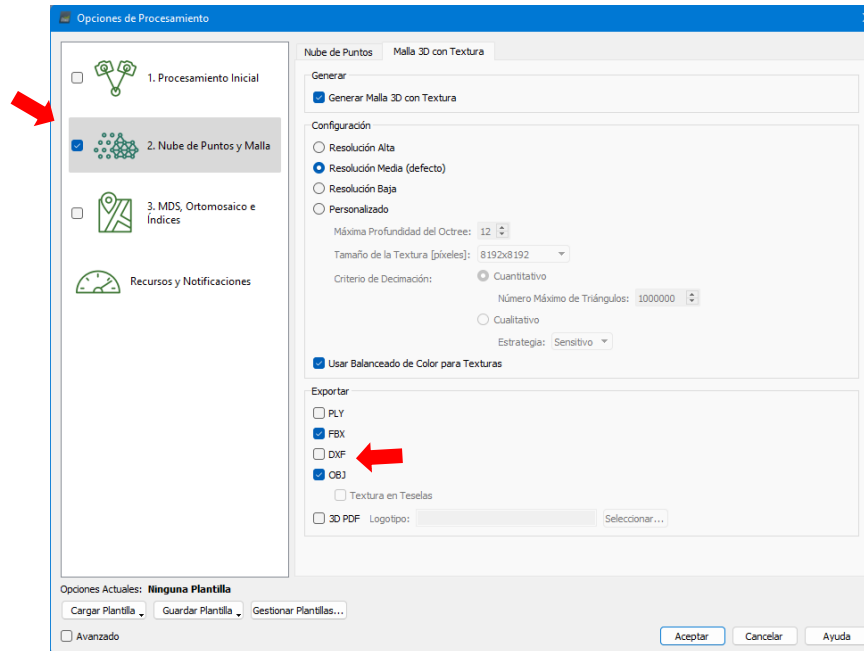


Figura 6-31. Clasificación de nube de puntos PIX4DMAPPER

Fuente. Elaboración propia

En esta imagen se aprecian las categorías de clasificación en donde quedarán agrupados los puntos de la nube densa. Se tiene “High Vegetación” que sería vegetación alta como árboles, “Building” que sería construcciones, entre otros.

El software presenta muchas más opciones en esta parte, como es la escala de la fotografía, la densidad de puntos, etc., estas opciones se pueden dejar tal como están, en la siguiente pestaña “Malla 3D Textura“, se encuentra lo relacionado con la Malla 3D que “suavizará” aquellos espacios en donde las fotografías no tienen información, para ello se colocan estas opciones como se muestra en la siguiente imagen.



**Figura 6-32. Opciones de procesamiento PIX4DMAPPER**

**Fuente. Elaboración propia**

Una vez concluidas estas opciones, se deja habilitado el botón “2. “Nube de Puntos y Malla”. Se clicla “Aceptar” y luego “Iniciar”, y en esta parte comienza el paso 2, que normalmente es el paso más tardado debido a la producción de la nube densa de puntos, esta nube tendrá un exorbitante número de puntos como resultado de esto, tardará horas, este aspecto dependerá de la potencia del equipo en cuestión.

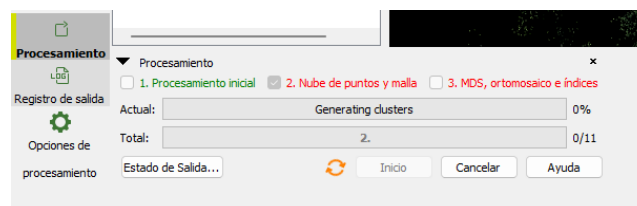


Figura 6-33. Inicio del paso 2 PIX4DMAPPER

Fuente. Elaboración propia

Luego de esto se habilitará las dos casillas llamadas “Nube de puntos” y “Malla de Triángulos”, siempre al colocar esta opción el software preguntará si desea cargarlo entonces se da “Aceptar”, esto es debido a que utilizará recursos de la computadora, lo mismo sucede con la otra opción “Malla de Triángulos”.

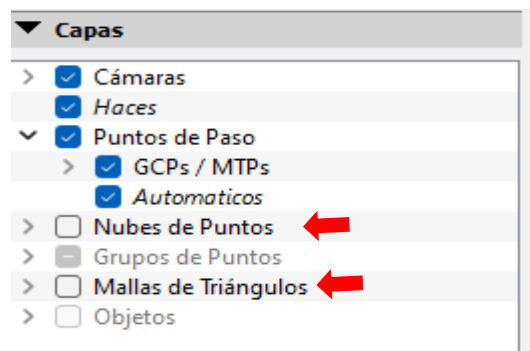


Figura 6-34. Nube de puntos y malla de triángulos PIX4DMAPPER

Fuente. Elaboración propia

Ahora se presentará un resultado en el que se ha activado la nube de puntos más la nube de puntos densa que se generó en el paso 2.



Figura 6-35. Resultado final del procesamiento en el que se presente la ladera inestable total.

Fuente. Elaboración propia

Este es el resultado final del procesamiento, ya que contiene una cantidad considerable de puntos. Al juntar todo, reconstruye fielmente la superficie del terreno, se observa que hay partes de la nube de puntos inconclusos, pero normalmente suelen suceder en los contornos. Esto es debido a que las fotografías hasta esos ángulos solo logran captar dos o tres fotografías, es por ello que, en la configuración del plan de vuelo, se abarca un espacio extra considerable para capturar mejor el terreno a levantar.

Ahora se observa la diferencia entre cada proceso.



**Figura 6-36. Diferencias entre procesos**

**Fuente. Elaboración propia**

Como se puede observar, normalmente debajo de los árboles, no se ha podido conseguir datos suficientes por lo que se mostraran como “datos faltantes”, para poder lograr corregir esta situación el software utiliza la maya de triángulos a fin de “lograr una armonía” de tal manera que sea lo más fiel posible al terreno en estudio, de este modo se observa que un árbol del terreno, se convierte en una especie de figura geometría en 3D, es por ello que este tipo de resultados requiere un estudio detallado y aclaratorio, puesto que se puede confundir con una porción de tierra que ha estado en el terreno cuando la realidad no es así, sino que esta forma es propiamente formada por los procesos de la malla de triángulos. El resultado es que han quedado la mayoría de los espacios interpolados.



**Figura 6-37. Diferencia entre procesos.**

**Fuente. Elaboración propia**

Una vez finalizado este proceso, es momento de convertir estos resultados en un modelo digital a fin de obtener mediante este nuevo resultado las curvas de nivel. Para ello, se comienza el paso 3.

### 6.2.3 PASO 3.

A continuación, se mostrarán los pasos necesarios para terminar el paso último y el que origina el modelo Digital de Superficie y Modelo Digital de Terreno, de los cuales se obtienen las curvas de nivel del terreno.

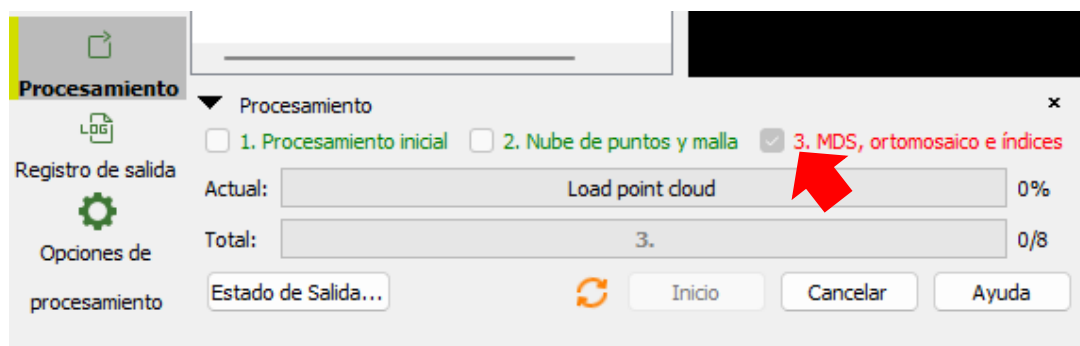


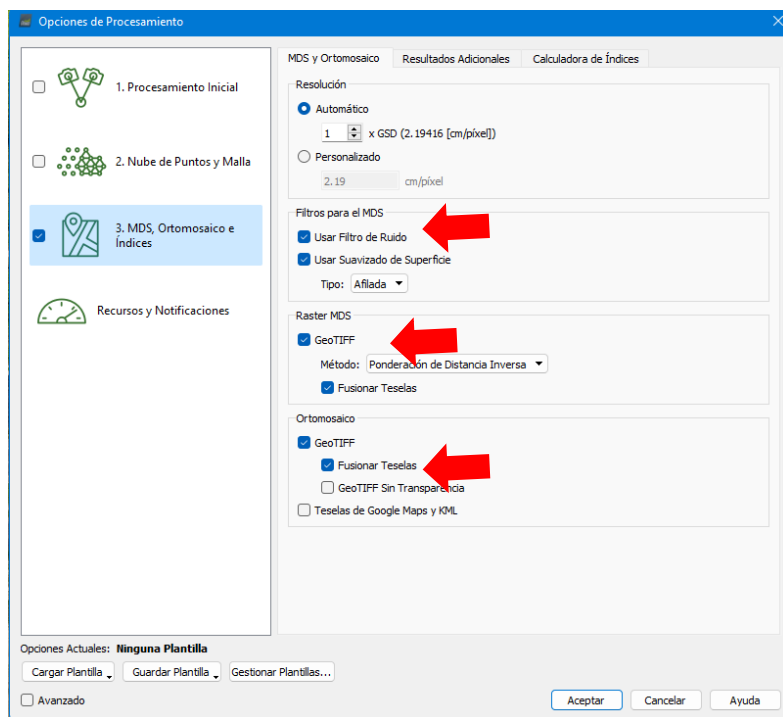
Figura 6-38. MDS, ortomosaico e índices PIX4DMAPPER

Fuente. Elaboración propia

Geo TIFF es un tipo de archivo que almacena imágenes ráster, esto quiere decir que cada píxel contiene información geoespacial de interés, y el término “Teselas” quiere decir subdivisiones de estas imágenes o modelos ráster, debido a que contienen información suelen ser archivos que ocupan espacio considerable, y por ello dividirlos es para un mejor manejo.

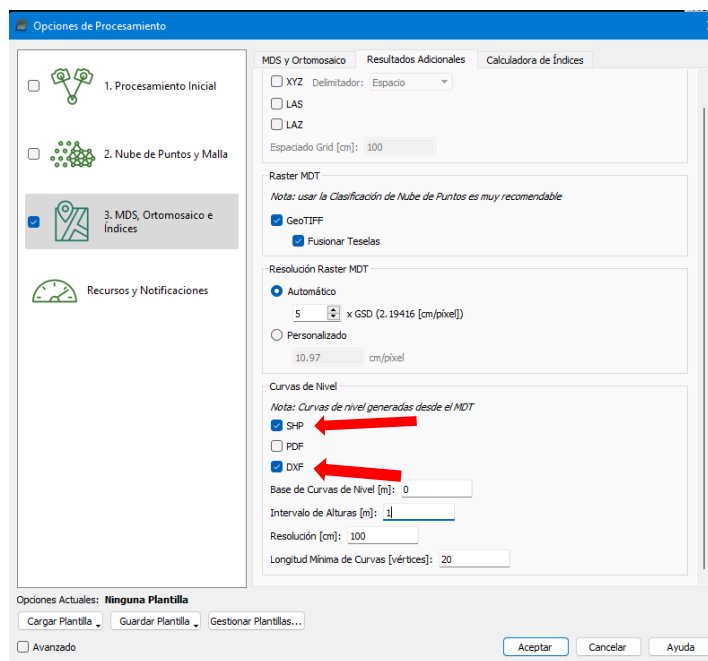
Para comenzar el paso 3 se selecciona el botón tres, los demás pasos ya aparecen en color verde porque se obtuvieron sus resultados, luego se hace clic en “Opciones de procesamiento” y se marca solamente el paso 3, en esta parte se deben considerar algunas opciones importantes, correspondientes a la parte en la que se obtiene el tipo de archivo, en la primera pestaña llamada “MDS Y

ortomosaico” se deja como muestra en la imagen, estas opciones son del tipo preferencial.



**Figura 6-39. Opciones de procesamiento PIX4DMAPPER**  
Fuente. Elaboración propia

Luego, en la pestaña “Resultados adicionales” es donde se encuentra la configuración para las curvas de nivel en el apartado “Curvas de nivel”.



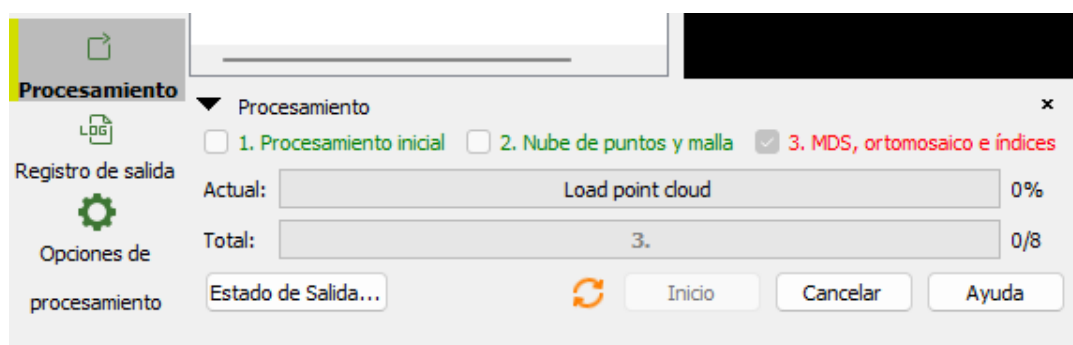
**Figura 6-40. Opciones para curvas de nivel PIX4DMAPPER**

**Fuente. Elaboración propia**

Es importante aquí tomar una decisión basada en los conocimientos de topografía, en “Intervalo de Alturas “ se encuentra la distancia necesaria para las curvas de nivel, para este caso se utilizó 1 metro por ser un número adecuado para el proyecto, es importante mencionar que en este mismo apartado se encuentran dos tipos de archivos importantes, que se deben seleccionar para construir un resultado más conforme para propósitos de la ingeniería civil, el archivo “SHP” es el mismo “Shapefile” archivo utilizado ampliamente en sistemas de información geográficos o SIG, este contiene información geoespacial que puede ser compatible con otros programas como por ejemplo Global Mapper entre otros, además el archivo “DXF” que es el otro archivo que permite que los resultados finales sean compatibles con programas como AutoCAD Civil3D y que

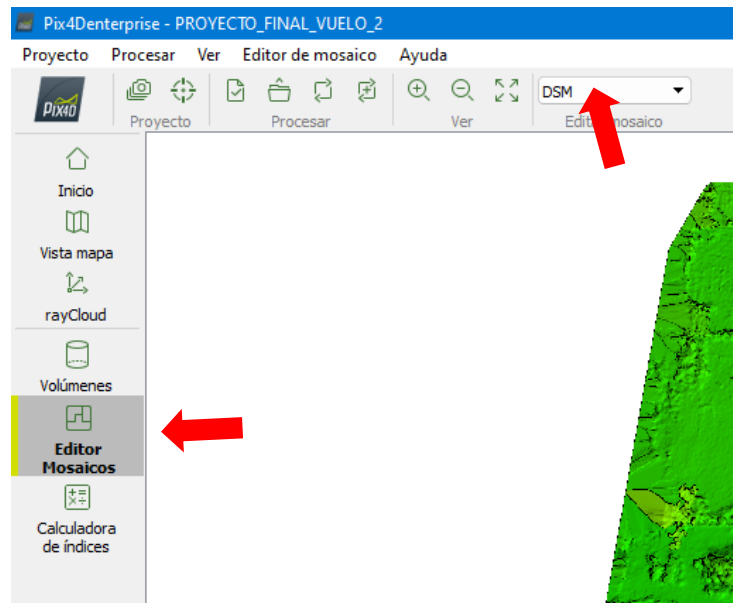
los utilizan para otro tipo de análisis, es por ello que es importante mantener habilitados estas dos casillas.

El apartado “Calculadora de Índices” es de uso preferencial, pero en este caso se dejaron predefinidas. Posteriormente, se clicla “Aceptar “e “Iniciar”. En esta parte tardará un poco como el paso 2, pero de una menor consideración.



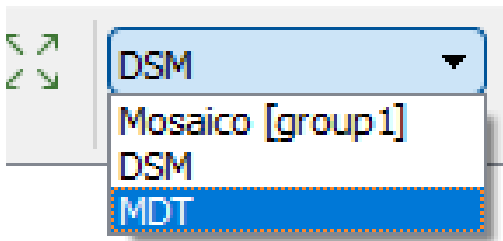
**Figura 6-41. Inicio paso 3**  
**Fuente. Elaboración propia**

Posteriormente finalizado, ya se obtienen los resultados y se han habilitado las opciones “Editor de Mosaicos”. Se clicla en ello para visualizar los resultados. Si apareciere el informe de calidad, será analizado posteriormente.



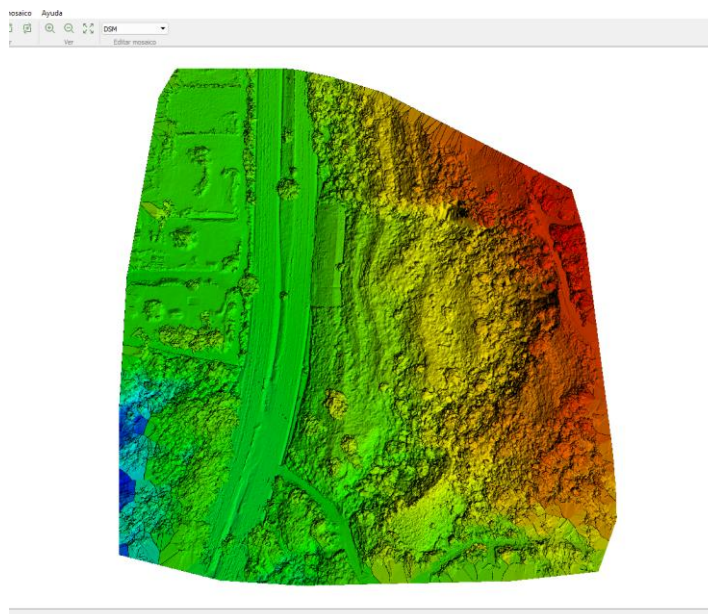
**Figura 6-42. Resultados de DSM**  
Fuente. Elaboración propia

En la pestaña que dice “DSM” se encuentran los tres resultados



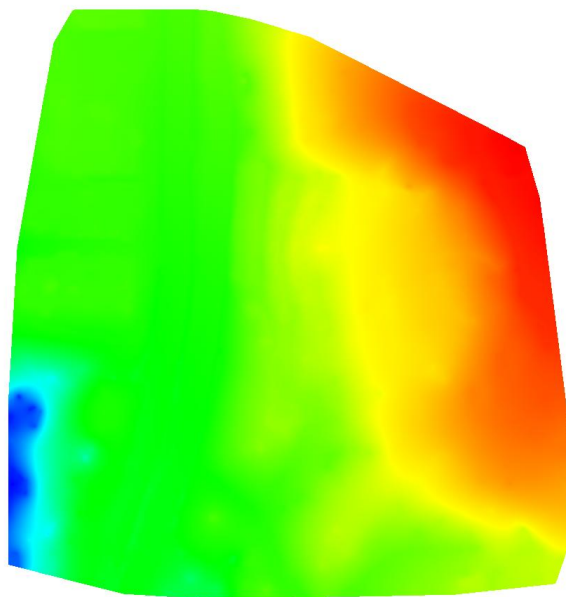
**Figura 6-43. Editor de mosaicos.**  
Fuente. Elaboración propia

En este momento, se pueden visualizar los resultados del análisis. Para ello se presentan los resultados del procesamiento, sin contar la nube de puntos.



**Figura 6-44. Modelo digital de superficie.**

**Fuente. Elaboración propia**



**Figura 6-45. Modelo digital de terreno**

**Fuente. Elaboración propia**

En esta parte se presentan los modelos digitales, son diferentes al ortomosaico, esto es porque el proceso del ortomosaico solamente contiene correcciones de fotografías y solapamientos, como georreferenciación, en cambio, los modelos digitales son productos del algoritmo y de la base teórica del proceso fotogramétrico.



**Figura 6-46. Ortofotografía de la ladera.**

**Fuente. Elaboración propia**

Con estos resultados se tienen los datos para comenzar a realizar el estudio de ladera, sin embargo, se necesita contar con la nube de puntos densificada para poder tener más opciones de estudio.

### 6.2.4 Exportación de nube de puntos densificada.

Esta nube de puntos es de gran utilidad, ya que permite ser usada en múltiples programas, sobre todo es compatible con AutoCAD Civil3D Version Demo y trabaja independiente de los demás resultados, es este programa el que puede recrear superficies en 3D.

Antes de realizar la exportación de la nube de puntos, es importante mencionar que se puede mejorar la clasificación de la nube de puntos. Esto es porque el programa a veces “confunde” algunos puntos de la nube de puntos, y, por tanto, están clasificados en otro apartado que no corresponde.



Figura 6-47. Mejoramiento de clasificación de nube de puntos

Fuente. Elaboración propia

Para reclasificar estos puntos se da clic en el botón que dice “Edita la nube de puntos densificada”, en esta parte permitirá que encima de la nube de puntos visual se pueda seleccionar un número de puntos y posteriormente reclasificarlos en donde se considere que pertenecen, para ello se da “clic derecho” en la zona

donde se considere el ajuste activando todas las casillas de la clasificación de nube de puntos y posteriormente se ha hecho la figura, se hace “clic izquierdo” para seleccionar todo lo que contiene dicha área, luego al lado del botón “asignar” se despliega la clasificación a la que pertenece posteriormente se selecciona el botón que dice “asignar”

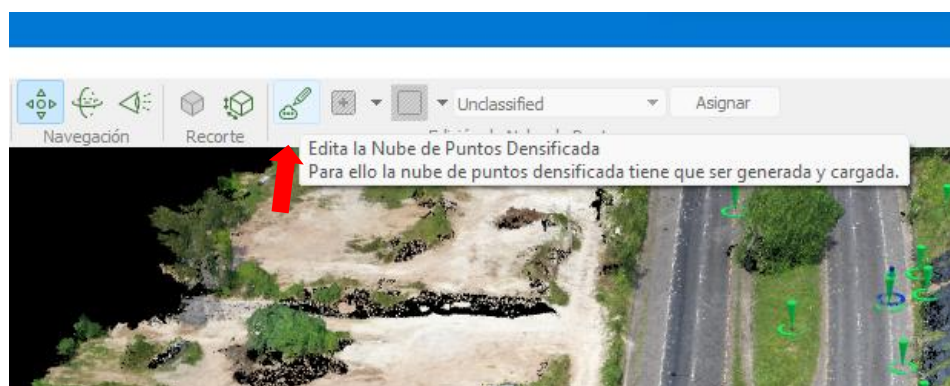


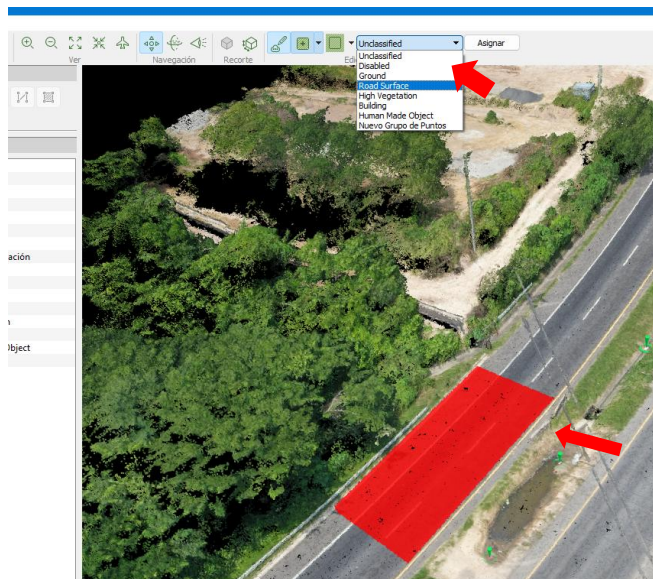
Figura 6-48. Mejoramiento de clasificación de nube de puntos

Fuente. Elaboración propia



Figura 6-49. Mejoramiento de clasificación de nube de puntos.

Fuente. Elaboración propia



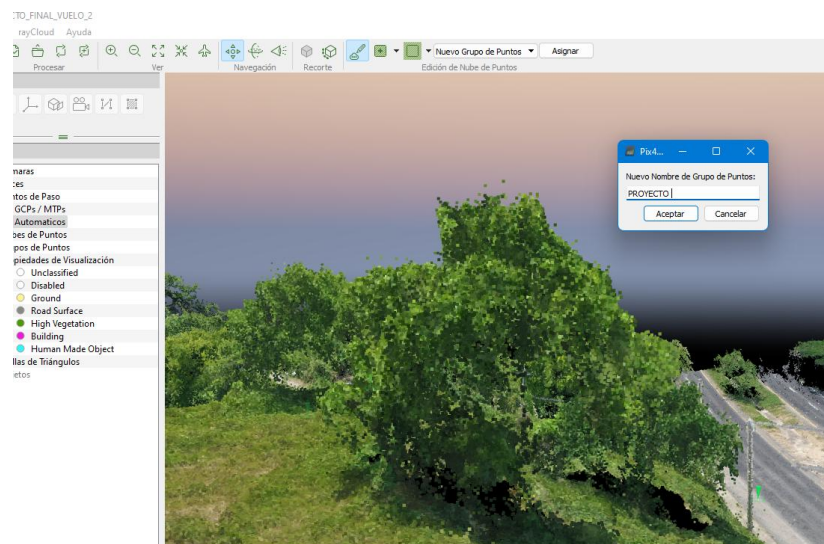
**Figura 6-50. Mejoramiento de clasificación de nube de puntos.**

**Fuente. Elaboración propia**

Este proceso se repite según el criterio del operador para poder reorganizar mejor la información, esto ayudará a identificar bien los objetos obtenidos en las en los resultados.

Para la investigación se limitaron los puntos de la nube de puntos hasta lograr solo la superficie, ignorando los puntos que sean de construcciones humanas y rboles considerables, debido a que para obtener la superficie en los softwares como AutoCAD Civil3D, estos consideran que todos los puntos son parte de la superficie sean o no parte de la superficie real del terreno, además de que contienen clasificación realizada por el otro software.

Es necesario crear una clasificación con el nombre “Proyecto” donde se inserten los puntos que se ignorarán.



**Figura 6-51. Nueva clasificación de grupo de puntos**

**Fuente. Elaboración propia**

Una vez logrado esta delimitación, para extraer la nube de puntos densa, se despliegan las opciones del apartado “rayCloud”, en el apartado “Nube de puntos”, habrá que activar “Nube de puntos Densificada” y luego se dará “Clic Izquierdo” encima del proyecto, ahí aparecerá una opción que dice “Exportar nube de puntos”.

El software da la opción de seleccionar qué clase se requiere de la nube de puntos, es importante seleccionar de la nube de puntos lo que realmente se necesita para producir la superficie: por ejemplo, para estudiar el terreno no se necesitan estructuras humanas, de este modo se deshabilita “Human Made Object” y se exporta de esta manera la nube de puntos densificada “simplificada”. Como se puede observar, es por ello la importancia de clasificar puntos, como se vio en el paso dos, y el mejoramiento de la nube de puntos, además de poder mejorar el rendimiento para procesar datos en otros programas.

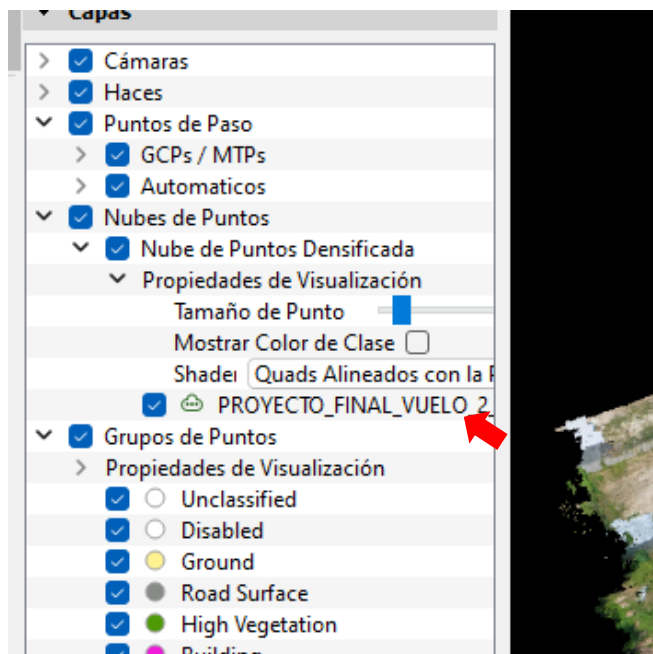


Figura 6-52. Seleccionar nombre del proyecto.

Fuente. Elaboración propia

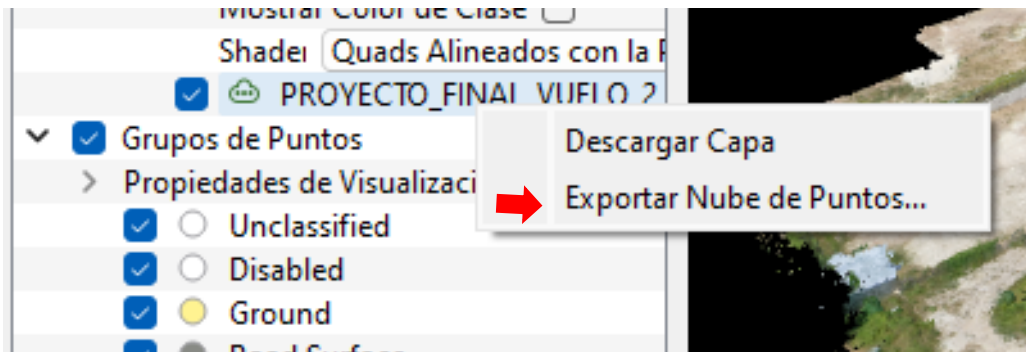
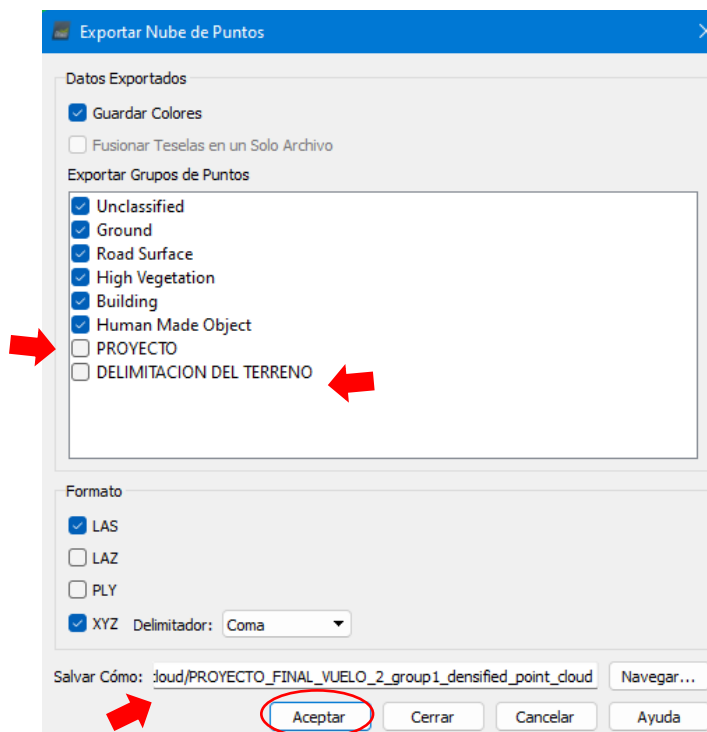


Figura 6-53. Seleccionar Exportación de Nube de Puntos.

Fuente. Elaboración propia

Es posible observar la importancia de clasificar puntos, como se vio en el paso dos, y el mejoramiento de la nube de puntos, además de poder mejorar el rendimiento para procesar datos en otros programas.



**Figura 6-54. Se muestran las carpetas creadas con diferentes fines.**

**Fuente. Elaboración propia**

Ahora bien, una vez determinado el interés para la nube de puntos, se busca en dónde se colocará el archivo en la computadora y se clicla “Aceptar”.

El programa por sí mismo produce un resultado de nube de puntos densificada, pero no con el interés del proyecto, además es importante mencionar que como son aproximadamente 32 millones de puntos, esto puede provocar que algunos programas colapsen en su procesamiento, es por ello que la nube de puntos no debe manejarse como “una multitud de puntos aislados “sino como”, “nube de puntos”, de este modo Software como AutoCAD Civil3D, procesan todos los puntos, pero dejan visible unos cuantos para no consumir recursos de procesamiento.

Se puede trabajar con los modelos digitales, pero muchas veces contienen mucha información y, por tanto, consumen demasiados recursos y trabajar con ellos resulta tedioso, es por lo que se utilizó la nube de puntos con su respectiva clasificación y delimitación.

### **6.3 Análisis de resultados obtenidos de pix4dmapper.**

#### **6.3.1 Análisis de informe de calidad PIX4DMAPPER**

Pix4d Mapper da una opción para generar el informe de calidad; se mencionarán aspectos básicos siempre pertenecientes a la topografía. Para que un levantamiento topográfico sea adecuado, debe cumplir con requisitos de calidad y precisión. Sobre todo, la precisión es de suma importancia, por lo que se nombrarán algunos aspectos de calidad que arroja el informe para poder determinar si el resultado es favorable.

El informe de calidad se puede visualizar en la pestaña "Procesar", allí aparecerá un apartado llamado "Informe da calidad", cabe mencionar que, si esta pestaña no está habilitada, se debe clicar en la pestaña "Generar informe de calidad", pero normalmente en cada paso se genera un informe correspondiente.

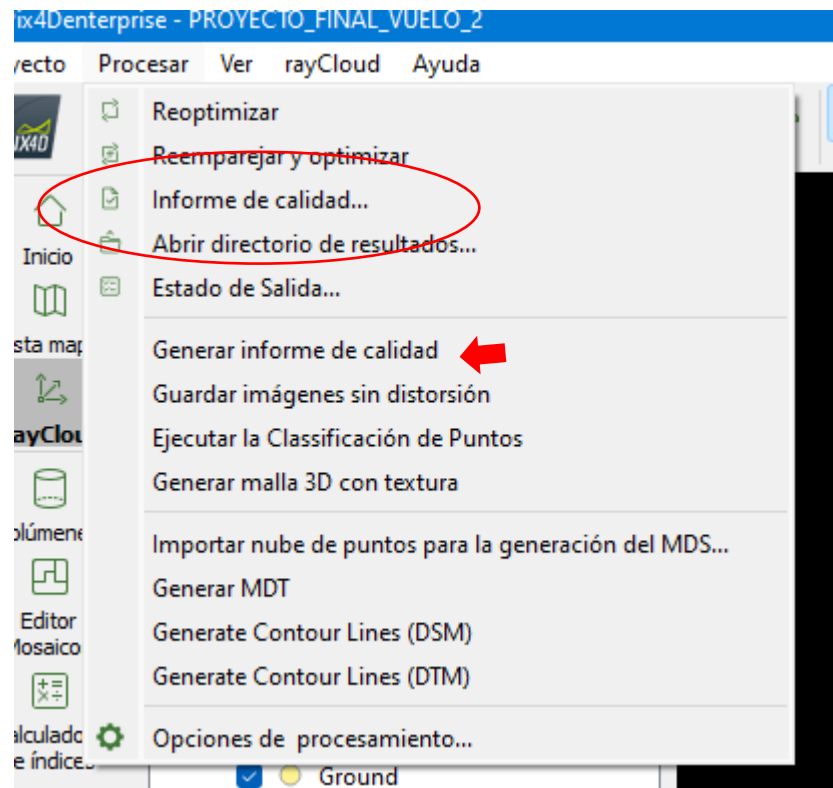


Figura 6-55. Generación de informe de calidad.

Fuente. Elaboración propia

Aparecerá el informe de calidad, en el cual la primera página informe de conceptos generales a modo de resumen.

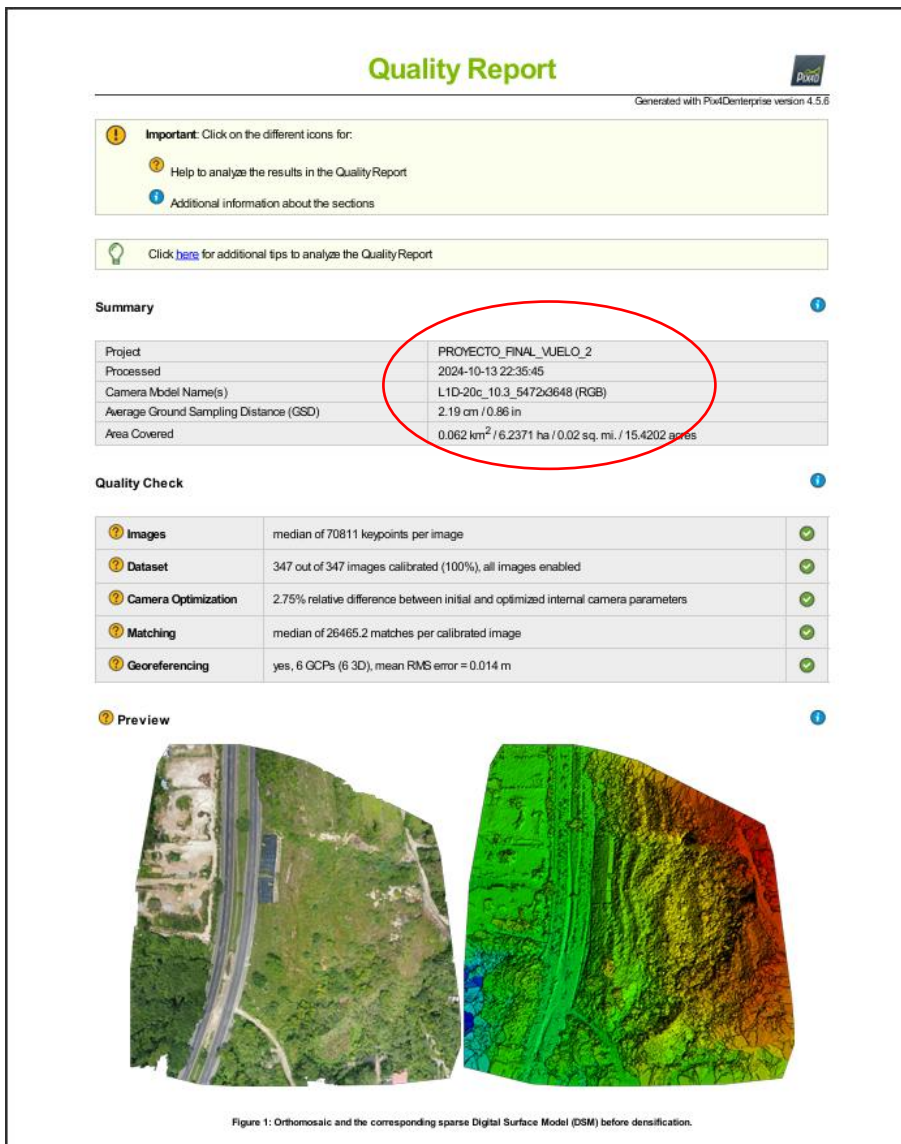


Figura 6-56. Se muestra un resumen obtenido del Informe de calidad de PIX4DMAPPER.

Fuente. Elaboración propia

### Datos generales: primera hoja del reporte en PIX4DMAPPER

- Este informe de calidad, generado con Pix4Denterprise (versión 4.5.6), documenta el procesamiento de un proyecto topográfico titulado "PROYECTO\_FINAL\_VUELO\_2", se realizó el 2024-10-13.

- El proyecto abarca 0.062 km<sup>2</sup> o 6.2371 ha y utilizó una cámara L1D-20c (ya se habló de esta cámara anteriormente).
- El procesamiento aseguró una calibración del 100% de las imágenes con un total de imágenes procesadas de 347, con una media de 70811 puntos clave o puntos foto identificables por imagen, también se puede decir que son coincidencias por imagen.
- El error medio cuadrático (RMS) en la georreferenciación de 0.014 m, que para topografía es muy bueno. Esta precisión, de entre todos los parámetros importantes, este es el mayor.
- La optimización de los parámetros internos de la cámara mostró una diferencia relativa del 2.75%, lo que quiere decir que al calibrar distancia focal, distorsión del lente y posición del centro óptico, ajusto 2.75% de los parámetros iniciales contra los finales, lo que se traduce directamente un resultado mejor, no significa que el resultado mejorara 2.75%, ya que estas no son medidas de calidad, por tanto, cuanto mejor sea este valor quiere decir que los datos tomados en campo fueron adecuados y, por tanto, se calibró poco.
- Los resultados del ortomosaicos, DSM y DTM, obtuvieron una resolución de 2.19 cm/píxel, este resultado expresa que un punto o píxel que es la unidad fundamental en la construcción de los tres resultados anteriores contiene una medida de 2.19 cm del terreno real, de este modo tanto menor sea este dato, mayor poder de visualización e identificación de

objetos de interés se tendrán. Esto es, por ejemplo, si tuviéramos un objeto que en el campo real que mide 5 cm de alto cabe en 2.28 píxeles, por lo cual se puede medirlo con facilidad.

### Solapamiento de fotografías y reconocimiento de puntos foto identificables.

Overlap

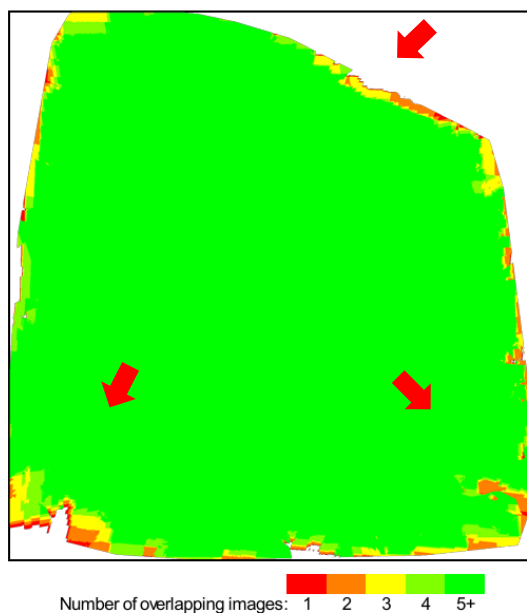


Figure 4: Number of overlapping images computed for each pixel of the orthomosaic. Red and yellow areas indicate low overlap for which poor results may be generated. Green areas indicate an overlap of over 5 images for every pixel. Good quality results will be generated as long as the number of keypoint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

**Figura 6-57. Mapa de superposición de imágenes para cada píxel del ortomosaico.**  
Fuente. Elaboración propia

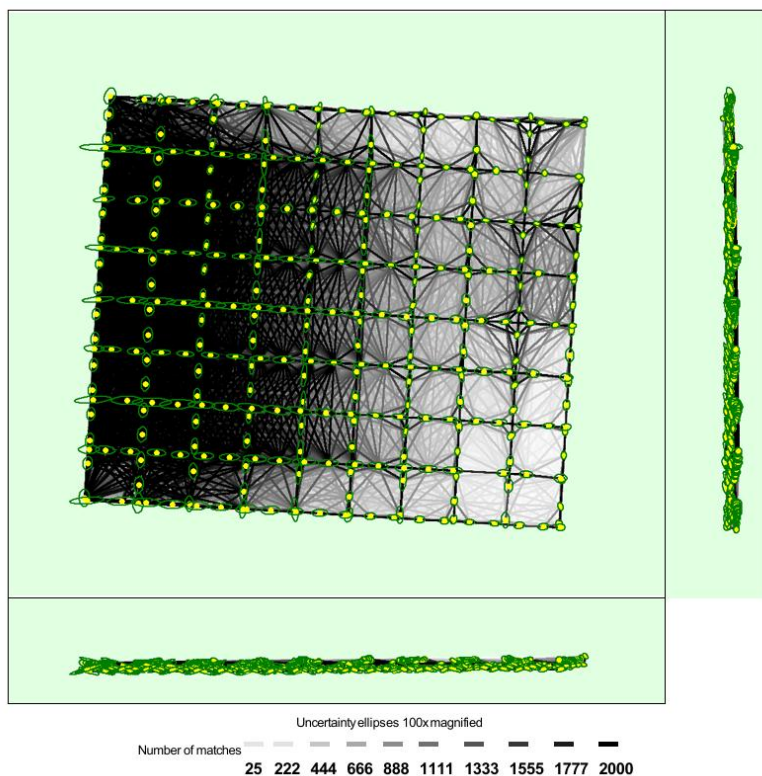
La imagen muestra un mapa de superposición de imágenes para cada píxel del ortomosaico generado. Los colores indican el número de imágenes que se solapan en cada área.

- **Verde:** Más de 5 imágenes se solapan en estas áreas, lo que garantiza una buena calidad de resultados. Como se mencionó anteriormente, entre más imágenes se obtengan, aumenta la calidad.
- **Amarillo y Rojo:** Indican áreas de bajo solapamiento, donde puede haber una calidad menor debido a la falta de imágenes suficientes. Para este caso se muestran al final del contorno global del levantamiento.

Para el proyecto, este proceso fue adecuado, ya que el área verde está en la totalidad de la ladera en estudio, como también enfatiza la importancia del margen extra que se colocaron en el plan de vuelo.

Algunas veces, cuando el procesamiento muestra puntos o zonas amarillas o rojas en el centro de esta gráfica es una indicación importante para tomar en cuenta cuando se requiera realizar nuevamente el levantamiento con dron.

## Reconocimiento de puntos en 2D foto identificables.



**Figura 6-58. Correlación entre imágenes y puntos foto identificables.**

Fuente. Elaboración propia

En esta imagen se presenta la correlación entre imágenes y los puntos foto identificables que hay: entre más clara es la imagen, menos puntos coincidentes o foto identificables y, por tanto, menos precisión o indicaría zonas en las que se pueda mejorar la colocación de más puntos de paso, esto no significa un resultado inadecuado, sino más bien que es posible mejorar o volver a reemparejar u optimizar de nuevo a fin de que existen más coincidencias entre fotografías o puntos foto identificables.

Las zonas de color oscuro más intensas muestran mayores coincidencias, contrario a lo dicho anteriormente, entre mayor color más puntos foto identificables existen y, por tanto, mejor precisión, esto es de esperar debido a que en el terreno dicha zona pertenece a construcciones humanas, por lo tanto, más fácil de identificar puntos se tiene.

En cambio, cuando es terreno natural, son pocos los objetos que logramos identificar esto es porque la mayoría de los colores y formas son semejantes, colores verdes, blancos, no se diferencian tanto, esto se puede mejorar también mediante un nuevo vuelo que sea más bajo de tal manera que logremos identificar más cosas en dicha zona, pero para el resultado obtenido es adecuado.

## Método de toma de fotografías usado por la cámara del dron “Rolling shutter statistics.”

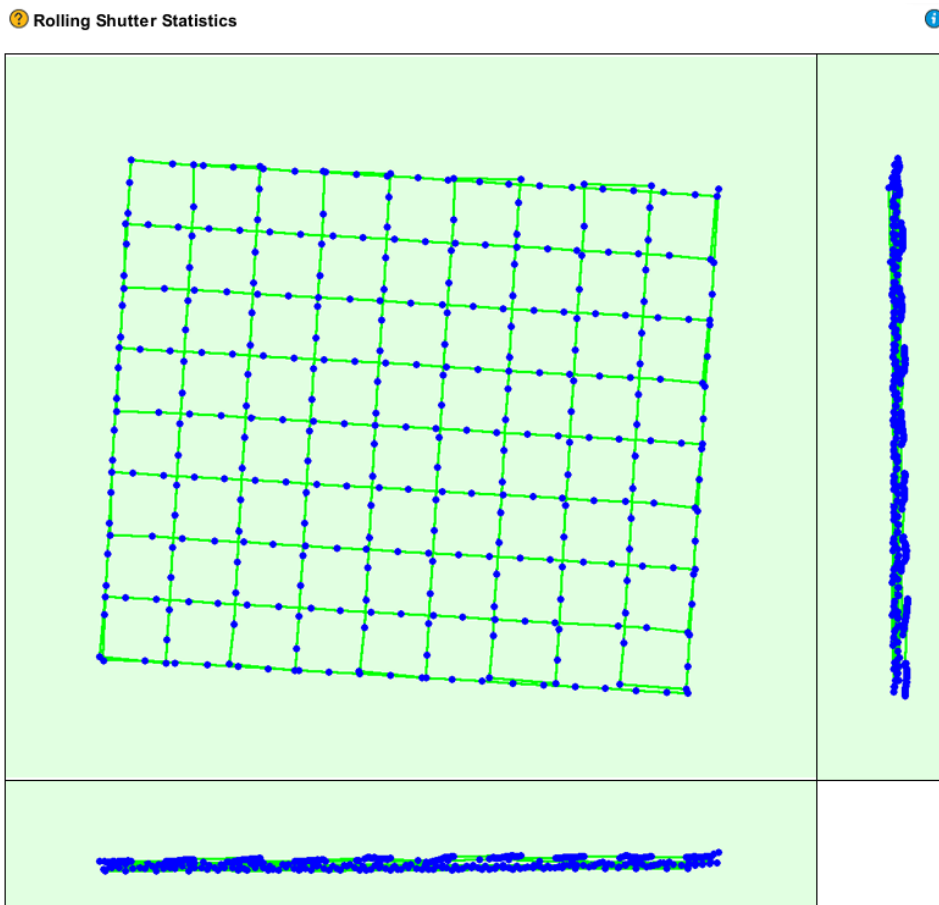


Figure 6: Camera movement estimated by the rolling shutter camera model. The green line follows the computed image positions. The blue dots represent the camera position at the start of the exposure. The blue lines represent the camera motion during the rolling shutter readout, re-scaled by a project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

Median Camera Speed	3.3221 [m/s]
Median Camera Displacement During Sensor Readout)	0.1912 [m]
Median Rolling Shutter Readout Time	57.0062 [ms]

Figura 6-59. Se presenta el recorrido formando una “Malla” en la que se desplazó el dron.

Fuente. Elaboración propia

Se muestra una malla, cada línea de la malla es la dirección en que se desplazaba el dron con una velocidad, al mismo tiempo la cámara y el sensor

que contiene se mueven en otro sentido, este sensor empieza a moverse de arriba abajo y, por tanto, cada línea de color verde contiene muchas fotografías, y los puntos de color azul indican la nueva posición de la cámara para realizar el método Rolling Shutter, método muy conocido en momentos en el que los objetos están en movimiento, por tanto, indica que existen fotografías al comienzo y fotografías al final del movimiento.

*Reporte:* "Median Camera Speed 3.3221 [m/s]" y "Median Rolling Shutter Readout Time 57.0062 [ms]". La velocidad media de la cámara fue de 3.3221 m/s y el tiempo de lectura del rolling shutter fue de aproximadamente 57 ms, esto explica cómo se comportó el dron en términos físicos de movimientos relativos, este dato será modificado según el clima, por ello es importante tener condiciones adecuadas en la medición.

## Tabla resumen sobre el número de puntos totales obtenidos.

### Results



Number of Generated Tiles	1
Number of 3D Densified Points	32764580
Average Density (per m <sup>3</sup> )	493.06

Figura 6-59. Se muestra la tabla "Results".  
Fuente: Elaboración propia

*Reporte:* "Number of 3D Densified Points 32764580" y "Average Density (per m<sup>3</sup>) 493.06". Se generaron más de 32 millones de puntos densificados en el modelo 3D, con una densidad media de 493.06 puntos por metro cúbico con esto es posible tener una idea de la magnitud de los puntos como resultado final de la fotogrametría que permite el dron y el equipo GPS de doble frecuencia en topografía.

## Detalles de geolocalización de puntos de control.

### Geolocation Details



#### Ground Control Points



GCP Name	Accuracy XYZ [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
PCF1 (3D)	0.020/ 0.020	-0.001	0.014	-0.006	0.404	96 / 96
PCF2 (3D)	0.020/ 0.020	0.006	-0.014	0.035	0.319	84 / 84
PCF3 (3D)	0.020/ 0.020	-0.003	0.004	-0.044	0.397	86 / 86
PCF4 (3D)	0.020/ 0.020	-0.008	-0.007	0.007	0.383	131 / 131
PCF5 (3D)	0.020/ 0.020	-0.005	0.003	-0.027	0.551	10 / 10
PCF6 (3D)	0.020/ 0.020	0.012	0.000	0.035	0.640	15 / 15
<b>Mean [m]</b>		0.000207	-0.000101	-0.000026		
<b>Sigma [m]</b>		0.006880	0.008719	0.029269		
<b>RMS Error [m]</b>		0.006883	0.008720	0.029269		

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 v.s. manually marked.

Figura 6-60. Detalles de geolocalización de puntos  
Fuente: Elaboración propia

Se muestra una tabla resumen, en la que el informe arroja datos interesantes sobre los puntos de control. Las variables Mean, Sigma y RMS Error, son conocidas como: Promedio, desviación estándar y error medio cuadrático respectivamente, estas variables estadísticas de confiabilidad son aplicables como criterios de probabilidad y estadística, por tanto, los números indican en cada eje X, Y y Z, que son muy bajos, entre más bajos son esos resultados mejores resultados se obtienen, más se superan los problemas de origen humano como los errores sistemáticos

Cabe mencionar que también se muestra un parámetro muy importante, y es la relación proyección-punto de control (Projection Error Píxel) esto significa que cuando se procesan los datos, en el apartado “emparejamiento y optimización” antes de pasar al paso 2 del proceso, existe un error en hacer clic en la fotografía con el punto de control real del terreno. Se puede observar que el punto PCF 5 Y PCF 6 obtienen el mayor error, esto era de esperar porque estos puntos están al borde de los límites de estudio, además de que también se muestran solo 10 y 15 fotografías respectivamente, como también el ángulo en el cual la fotografía se encuentran, no permiten una mejor colocación de la proyección con el punto medido.

Otro aspecto importante radica en la columna del eje Z o la altitud, es de esperar que estos resultados sean los mayores y, por tanto, tengan mayor error, ya que son provenientes del modelo de geoide utilizado, que para este caso es el modelo

EGM 2008, por tanto, el punto foto identificable encontrado por el proceso matemático y los principios de fotogrametría no coinciden.

#### **6.4 Creación de plano topográfico a partir de los datos obtenidos de PIX4DMAPPER (Altimétrico y Planimétrico Simultáneas).**

Para obtener un mapa topográfico con información geoespacial debemos partir del ortomosaico por definición, ya que este último, es un resultado de la alineación, ajuste de cámara y optimización de las 347 fotografías áreas en el procesamiento anterior, además cada una de las fotografías se capturó de forma perpendicular u ortogonal con respecto a la superficie de estudio de la ladera, por lo que la totalidad de las fotografías también se encuentra a  $90^\circ$ , es por esta razón que se puede dibujar perfectamente sobre el ortomosaico para producir un plano Planimétrico.

Al proceso por el cual se crea un plano trazando sobre una fotografía global perpendicular a la zona de estudio, se le conoce como: Restitución fotogramétrica.

Para comenzar la restitución fotogramétrica debemos identificar el archivo que produce Pix4dmapper, este, por lo general, se encuentra en la siguiente dirección según cada ordenador:

- **C:\PROCESAMIENTO\_VUELO\_2\PROCESAMIENTO\PROYECTO\_FIN  
AL\_VUELO\_2\3\_dsm\_ortho\2\_mosaic"**

Seleccionamos el archivo .TIF y para saber identificarlo es el que contiene mayor espacio. Algunas ortofotos pueden pesar hasta un 1GB.

Además, se observa una carpeta denominada “tiles”, la cual contiene el mismo ortomosaico, pero dividido en partes, puesto si queremos trabajar una porción del levantamiento, y a sí mejorar nuestro rendimiento en el ordenador.

#### 6.4.1 Proceso general de la restitución fotogramétrica (planimetría).

Para nuestro caso utilizaremos AutoCAD Civil3D (Versión Estudiantil).

1. Abrimos nuestro archivo en donde vamos a trabajar nuestro levantamiento topográfico.
2. Debemos cambiar el modo de AutoCAD Civil3D a AutoCAD Planificación y Análisis.

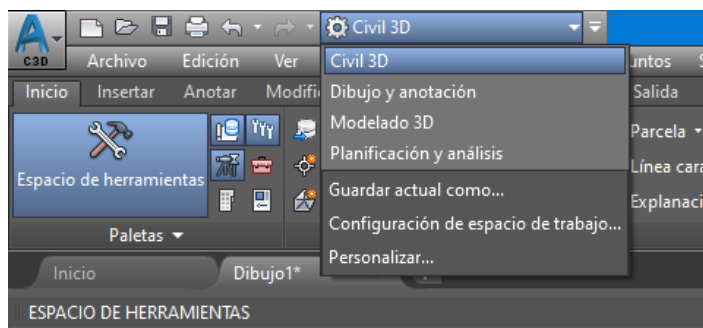
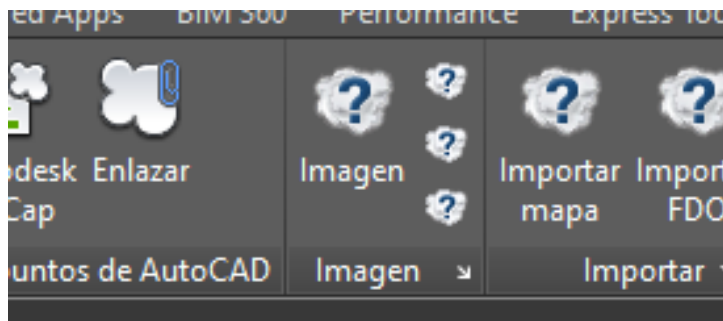


Figura 6-61. Ventana desplegada que muestra “Planificación y análisis”

Fuente. Elaboración propia

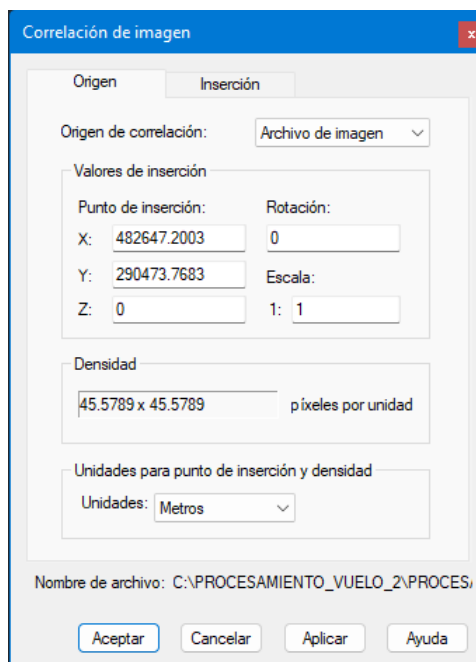
3. Se debe ir ahora a “Insertar”, luego al apartado “Imagen” y buscar el archivo, se selecciona “Abrir”.



**Figura 6-62. Selección de imagen**

Fuente. Elaboración propia

4. Se presenta una pantalla que indica la georreferenciación, y se selecciona la opción "Aceptar". De este modo, la ortofotografía se carga automáticamente con su correspondiente georreferenciación en el modelo de AutoCAD Civil 3D Demo. Una vez cargada la imagen, se puede buscar apretando "Doble Scroll".



**Figura 6-63. Ventana emergente en Civil 3D versión Estudiantil, luego de importar la ortofotografía**

Fuente. Elaboración propia

5. Se cuenta con una imagen georreferenciada en 2D, lo que indica que incluye coordenadas planas "X" e "Y". Con esta información, se puede construir mediante el trazado el plano topográfico, como se muestra:

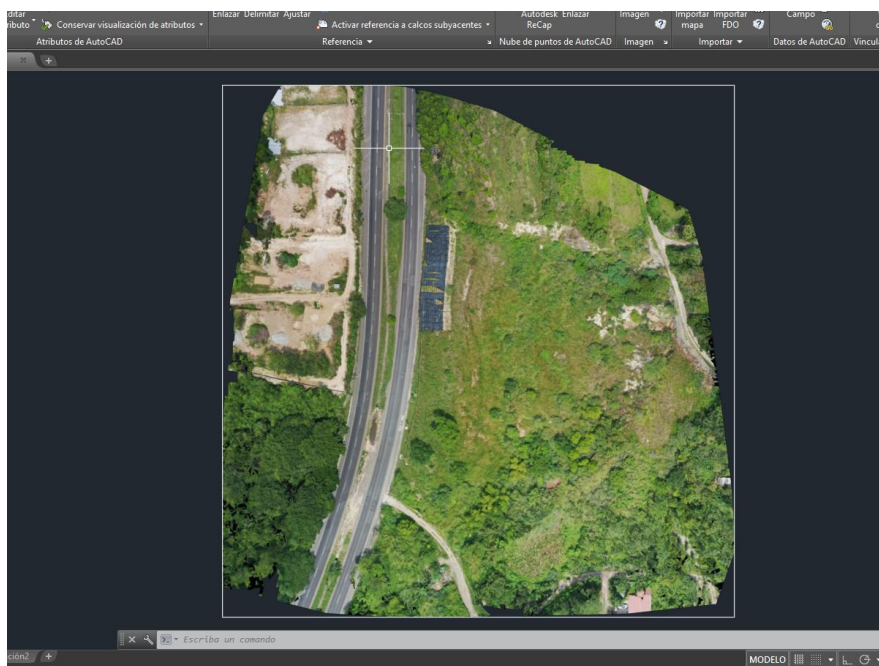


Figura 6-64 Ortofotografía superpuesta con los puntos de control fotogramétricos en Civil 3D (Versión Estudiantil).

Fuente: Elaboración propia



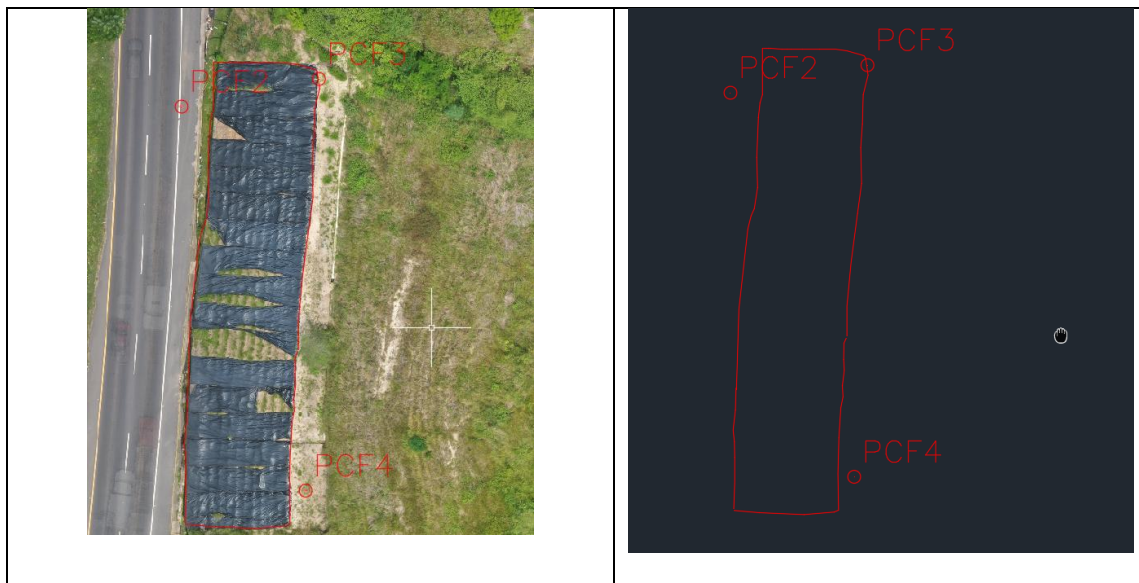


Figura 6-65. Trazo de la restitución fotogramétrica mediante comando “Polilínea” en Civil3D (Version Estudiantil)

Fuente. Elaboración propia

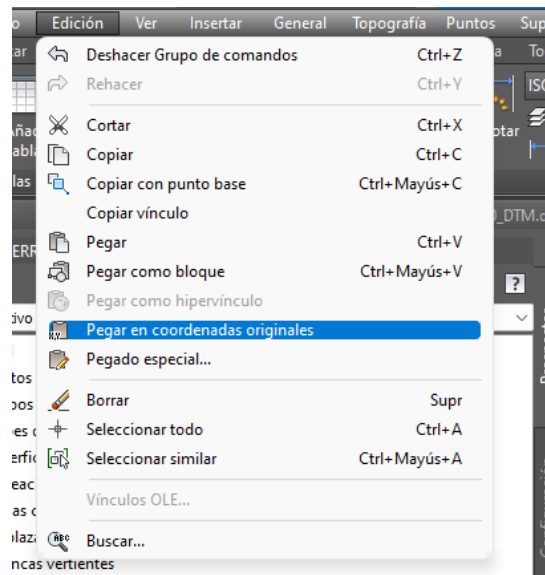
#### 6.4.2 Proceso de importación de curvas de nivel (altimetría)

Una vez trazada la restitución fotogramétrica, se procede a importar las curvas de nivel, dado que inicialmente solo se dispone de información bidimensional. Para llevar a cabo esta acción, se abre un nuevo archivo y se selecciona el icono "Abrir". La siguiente dirección permite acceder a las curvas de nivel generadas por Pix4Dmapper:

- **C:\PROCESAMIENTO\_VUELO\_2\PROCESAMIENTO\PROYECTO\_FIN  
AL\_VUELO\_2\3\_dsm\_ortho\extras\contours.**

Se selecciona el archivo .DXF, el cual suele ocupar mayor espacio, y se pulsa "Abrir". A continuación, se buscan las curvas de nivel, pudiendo utilizar "Doble Scroll". Luego, se cambia al modo CIVIL3D y se procede a copiar las curvas de nivel con las coordenadas originales en el archivo que contiene el dibujo en 2D.

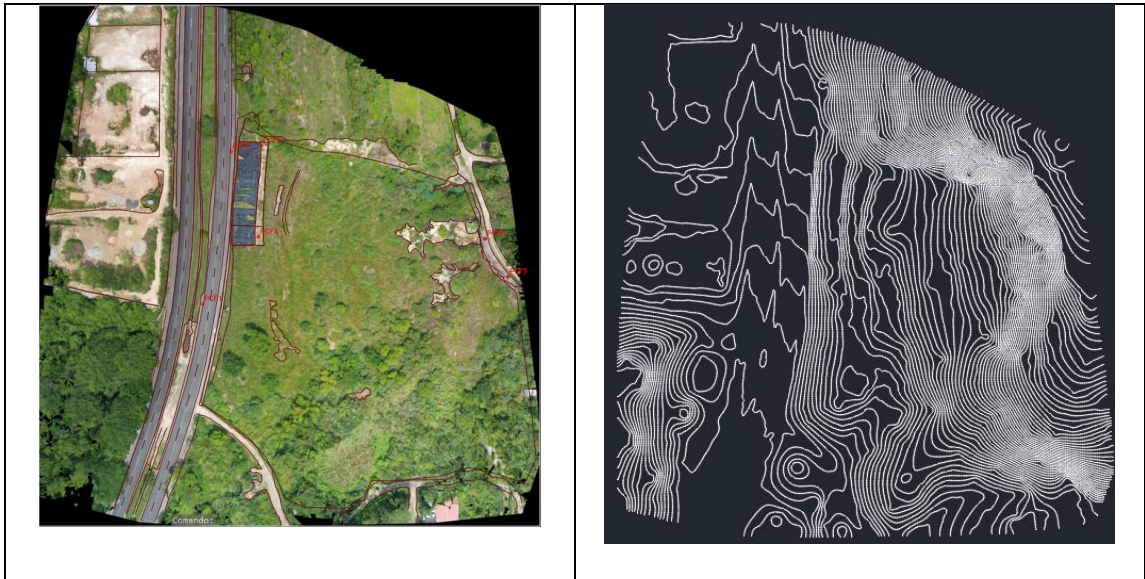
Para ello, se selecciona la opción "Edición" y se pulsa "Pegar con coordenadas originales".



**Figura 6-66. Selección de coordenadas originales**

**Fuente. Elaboración propia**

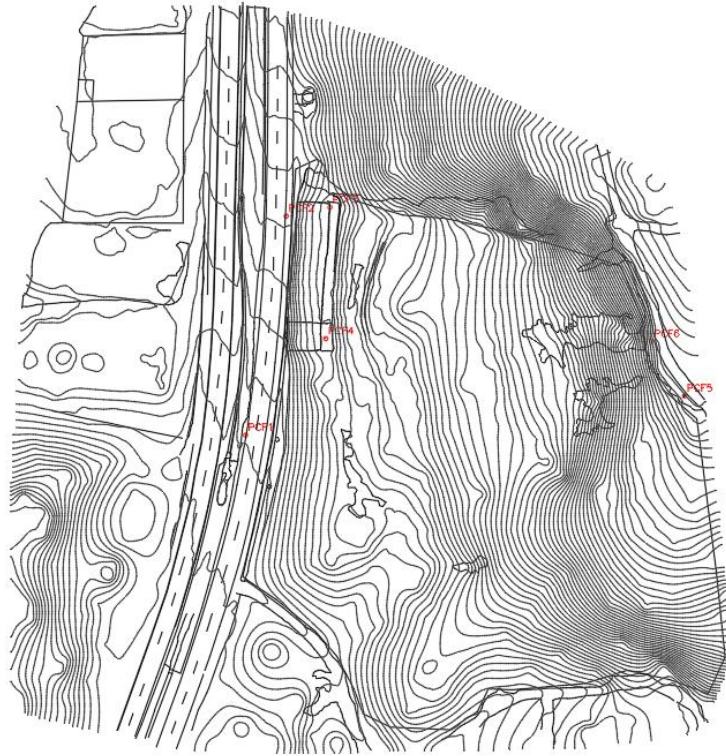
Las curvas de nivel proporcionarán datos en 3D, lo que permitirá construir una superficie en AutoCAD Civil 3D.



**Figura 6-67. Construcción del plano topográfico altimetría +planimetría.**

**Fuente. Elaboración propia**

A continuación, se elimina la ortofotografía, obteniendo así un mapa altimétrico que puede ser utilizado como plano topográfico y posteriormente analizado en diversos software como ArcGIS, Civil 3D, Global Mapper, QGIS, entre otros.



**Figura 6-68. Resultado de la superposición de las curvas de nivel y restitución fotogramétrica formando el plano topográfico característico de un levantamiento topográfico.**

Fuente. Elaboración propia

### **6.5 Mediciones de verificación para calidad topográfica**

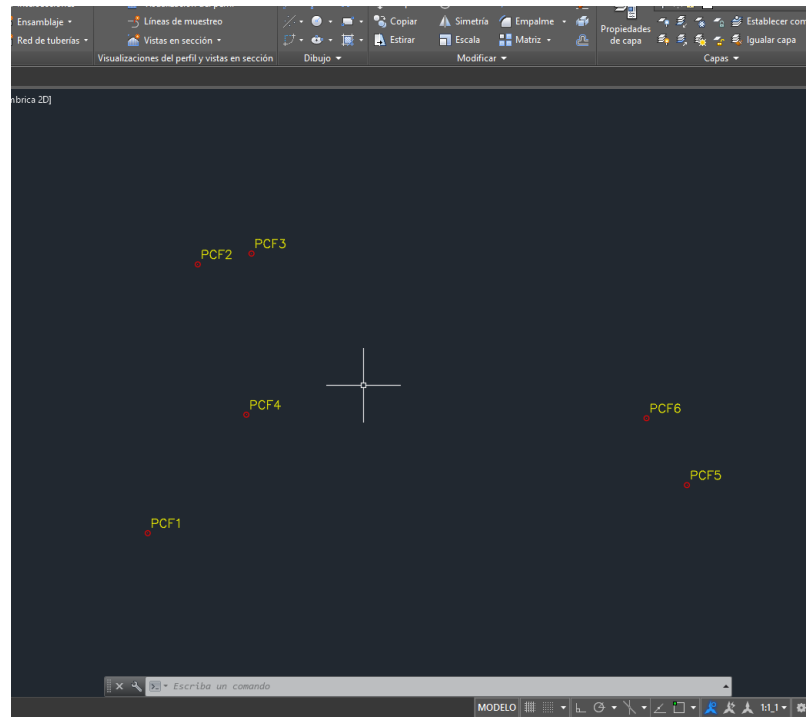
Se deben realizar mediciones que sirvan para comprobar nuestros resultados obtenidos y alcancemos una calidad adecuada para la topografía o los requisitos del proyecto en cuestión.

Esto se logra mediante dos procesos.

- **Importación de puntos de control fotogramétrico y ortomosaico.**
- **Verificación de medidas tomadas en campo.**

### 6.5.1 Importación de puntos de control fotogramétrico y ortomosaico

Se importan los puntos de control fotogramétricos (PCF), posteriormente se importa el ortomosaico como se muestra:



**Figura 6-69. Puntos de control fotogramétricos (PCF) importados en AutoCAD Civil 3D V.Demo**  
**Fuente: Elaboración propia**

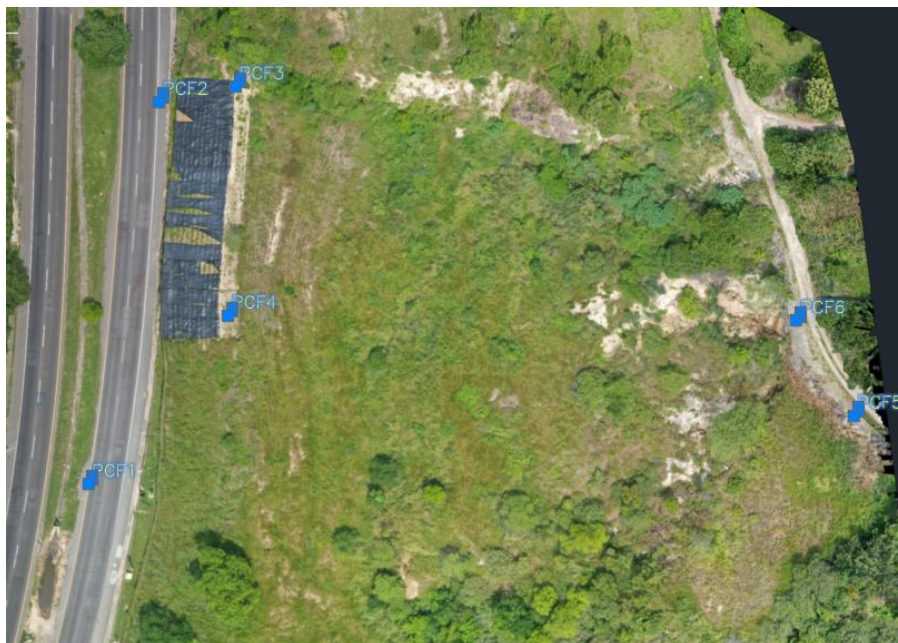


Figura 6-70. Puntos de control fotogramétricos y ortomosaico con “Clic” en los puntos para su visualización

Fuente: Elaboración propia

Los puntos por definición deberán coincidir con los puntos marcados en el terreno a la hora de medir, es por ello que se deberá verificar cada uno de ellos acercándose y seleccionando el punto de control fotogramétrico (PFC), realizando un acercamiento considerable.



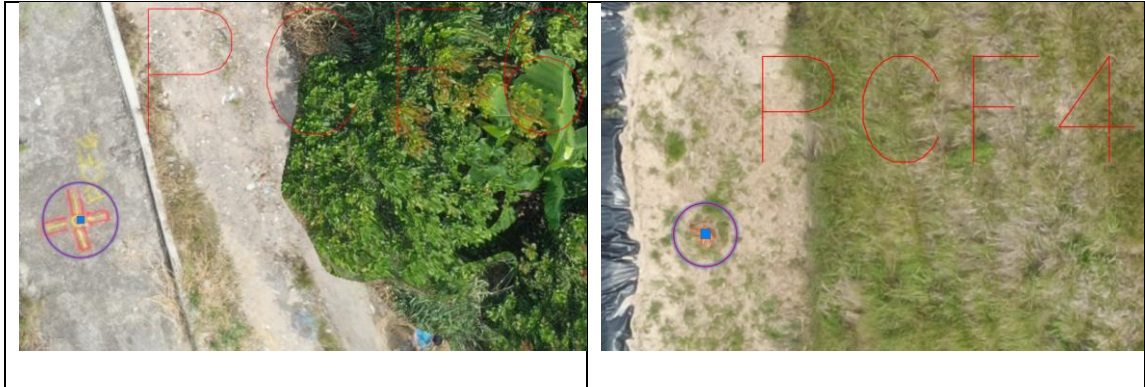


Figura 6-71. Superposición de Puntos de control Fotogramétrico y Ortomosaico.

Fuente. Elaboración propia

### 6.5.2 Verificación de medidas tomadas en campo.

Se deben medir objetos o distancias que sean foto identificables en el campo.

Para este caso, se utilizó una cinta de 50 m para medir los siguientes:

- Separador: **2.961 mts de largo.**
- Separación de la carretera de Oro de Línea Amarilla a Línea Amarilla:  
**8.251 mts de ancho.**

Debemos comprobar estas mediciones en el orto mosaico.

- Separador sobre el ortomosaico: **2.9531 mts de Largo**
- Separación de la carretera de Oro de Línea Amarilla a Línea Amarilla sobre el ortomosaico: **8.2593 mts**

Se demuestra que las longitudes son muy coherentes.



Figura 6-72. Longitud de carriles de la carretera sobre el ortomosaico en el que se muestra la calidad de los resultados.

Fuente. Elaboración propia



Figura 6-73. Verificación de longitud sobre el ortomosaico que muestra la calidad de los resultados.

Fuente. Elaboración propia

## 6.6. Procedimiento para obtener análisis de superficies con AutoCAD Civil 3D (Versión Estudiantil).

Para obtener el análisis, se debe contar con una superficie definida para el estudio. Para ello, se selecciona la superficie y se da “clic derecho” y seleccionamos en la opción “Propiedades de Superficies “

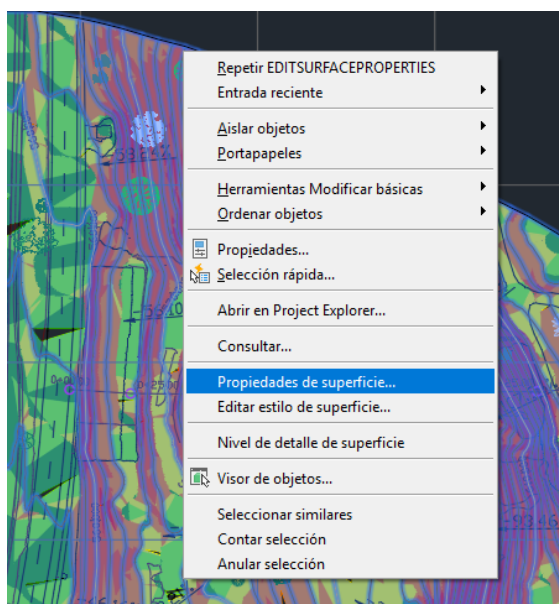
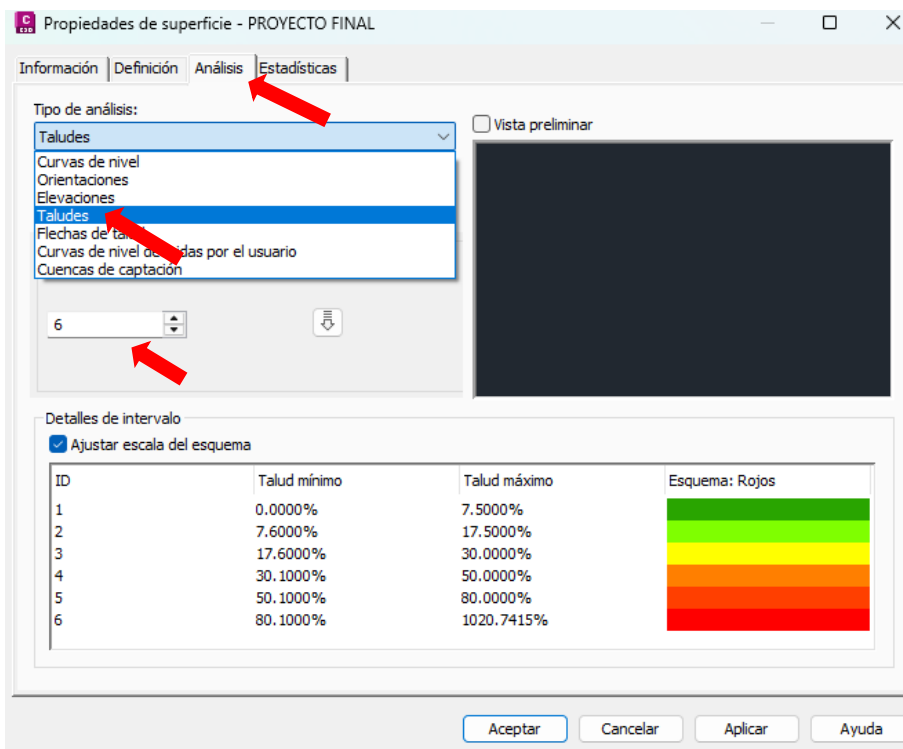


Figura 6.74 Selección de “Propiedades de superficie” para estudio de ladera  
Fuente: elaboración propia.

Luego se selecciona la pestaña de “Análisis” y seguido “Tipo de análisis”, donde se despliega varios criterios, los cuales se mencionaron anteriormente. En este caso se selecciona “Talud”.



**Figura 6-75. “Propiedades de Superficie”, selección de “Talud” para pendientes relativas.  
Fuente: Elaboración propia.**

Se selecciona en el apartado “Intervalos” el número de rangos que utilizaremos, para este caso, se utilizarán 6 rangos y se selecciona el botón “Ejecutar análisis”, luego asignamos a cada rango su color respectivo siempre en función de nuestro criterio personal a estudiar, luego damos “Aplicar” y “Aceptar”.

Este resultado proporciona una visión global, en la que predomina los colores anaranjado y rojo, indicando que hay más áreas en la ladera que pueden ser propensas a deslizamientos.

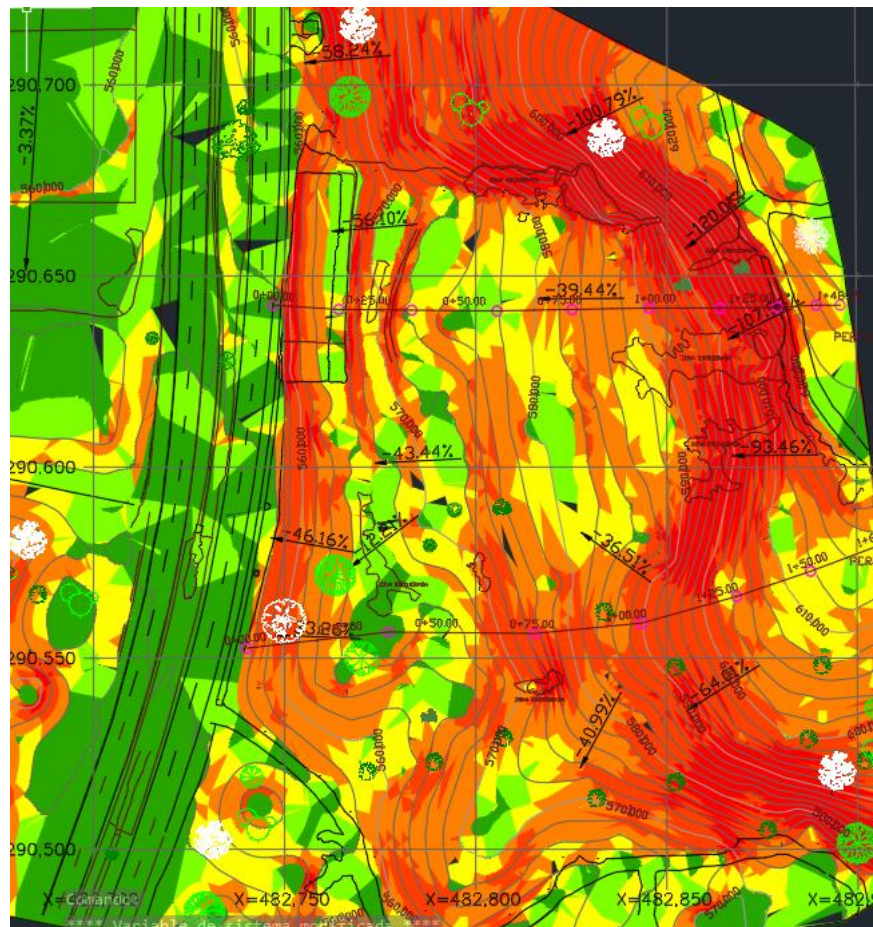


Figura 6-76. Selección del criterio “Talud” para estudio de ladera en el que se presentan los colores asignados para cada rango de pendientes relativas.

A continuación, se mencionan otros criterios de análisis que nos brinda AutoCAD Civil3D (Versión Estudiantil), estos son:

- **Análisis de flechas de talud:** Proporciona una visualización clara de la dirección de las pendientes, útil para evaluar la estabilidad y planificar medidas correctivas

- **Análisis de elevaciones:** proporciona una visión global en función de las alturas, útil para determinar zonas altas, bajas y de transición.
- **Análisis de cuencas de captación:** proporciona una visión de microcuencas en la ladera esto es útil para obtener información extra que ayude a diseñar sistemas de drenaje más eficaces que prevengan la acumulación de agua, un factor muy importante en la estabilidad de laderas.
- **Análisis de orientación:** proporciona una visión global que permite obtener información de la ladera en función de la inclinación o exposición al sol de 0° a 360° (norte, sur, este, oeste, etc.), útil para saber en qué partes la ladera está más expuesta al sol determinando a si el tipo de reforestación adecuada, así como la implementación de proyectos de energía solar, entre otros.

## 6.7 Integración de resultados por medio de sistema de información geográfico utilizando el software Qgis de código abierto.

Dentro de la carpeta que fue creada para el presente trabajo, Pix4DMapper arroja una serie de carpetas donde se almacenan todas las acciones y procesamientos que se realizaron, desde las fotos ortométricas del vuelo, la nube de puntos que se generaron, hasta los tres resultados sustanciales que se buscaron, como lo son las curvas de nivel, el modelo digital de superficie (DSM) y el modelo digital de terreno (DTM).

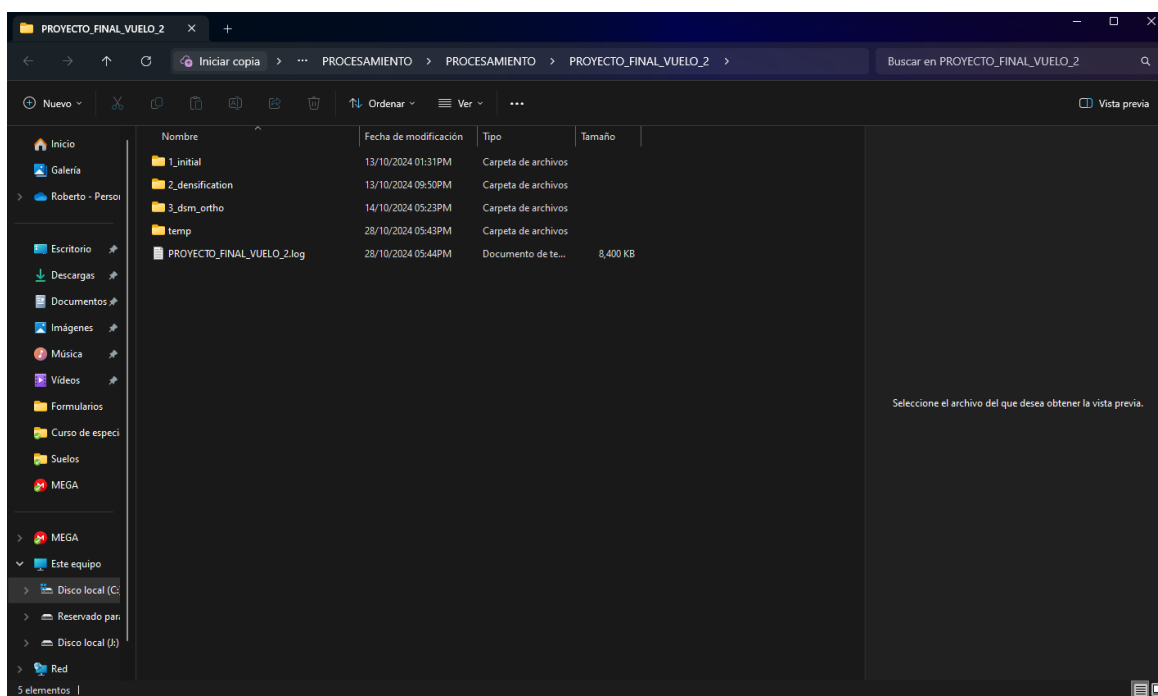


Figura 6-77. Carpetas generadas por Pix4DMapper luego de los 3 pasos de procesamiento  
Fuente. Elaboración Propia

Una vez ubicada la carpeta donde se encuentra el proyecto, se hace la modelación de los resultados por medio un software de información geográfico, en esta ocasión se usará el software QGis en la versión “QGis 3.34.3–Prizren”

La interfaz del software se presenta en la siguiente imagen, el cual en su parte superior se encuentra las barras de menú que normalmente se encuentra en cualquier programa, en la parte central se encuentran los últimos proyectos abiertos (si es la primera vez usando el software, estará en blanco), a la izquierda en la parte superior estará la biblioteca de archivos de la computadora, donde se buscarán los archivos de interés y siempre en la parte izquierda, pero en la zona inferior estará la zona donde se visualizarán los archivos con los que se está trabajando en ese momento.



**Figura 6-78. Software de uso libre para Sistemas de Información Geográfico. QGis (QGis 3.34-Prizren)**  
**Fuente. Elaboración Propia**

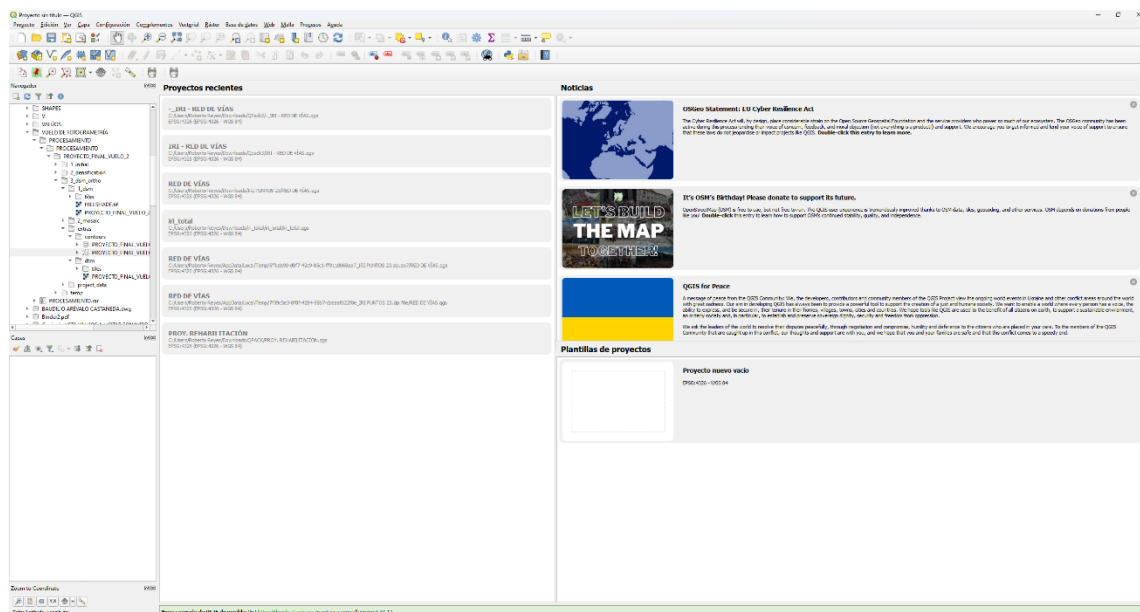


Figura 6-79. Interfaz del software QGIS  
Fuente. Elaboración Propia

De forma predeterminada, QGIS por medio de la ubicación geolocalizada del usuario, este se adapta a una elipse determinada, de la parte, se hace clic en la parte inferior derecha y se selecciona el sistema de referencia SIRGAS-ES2007.

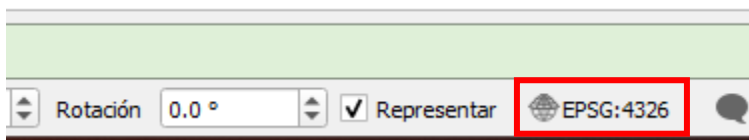


Figura 6-80. Barra de estado donde se puede cambiar El Sistema de Referencias de Coordenadas  
Fuente. Elaboración Propia

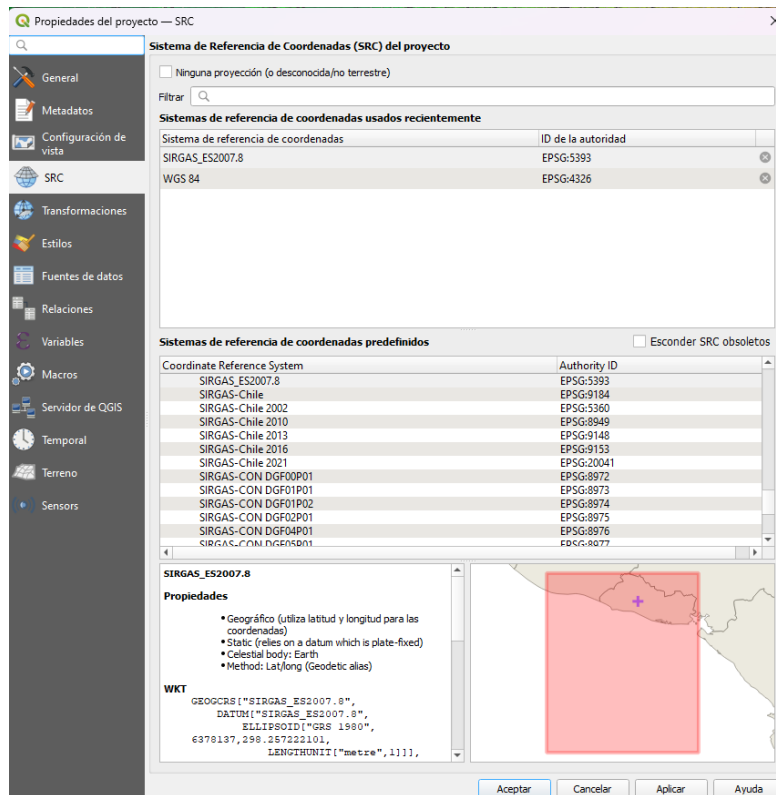


Figura 6-81. Sistemas de Referencias para cambiarlo a SIRGAS ES2007  
Fuente. Elaboración Propia

Habrá que ubicarse en la parte izquierda de QGIS en sección de “Navegación”, que es donde se puede encontrar la biblioteca de archivos de toda la computadora, se buscará la carpeta donde se tiene guardados el proyecto de Pix4DMapper, una vez ubicada la carpeta, se empieza con la búsqueda de tres archivos (las curvas de nivel, la DSM y la DTM).

Estos archivos se encuentran ubicados en:

- DSM: 3\_dsm\_ortho → 1\_dsm → *archivo.tif*
- Curvas de nivel: 3\_dsm\_ortho → extras → contours → *archivo.shp*

- DTM: 3\_dsm\_ortho → extras → dtm → *archivo.ti*

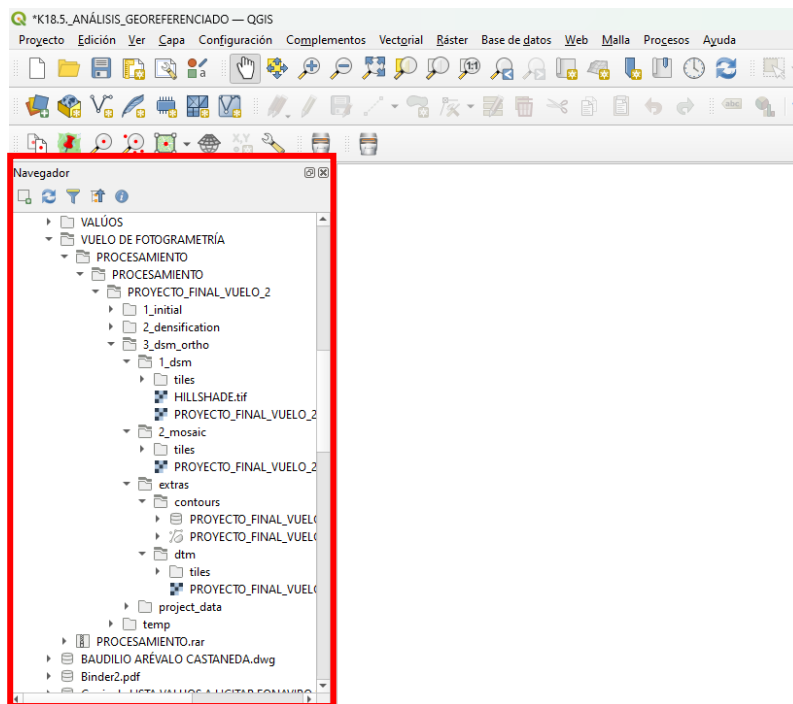
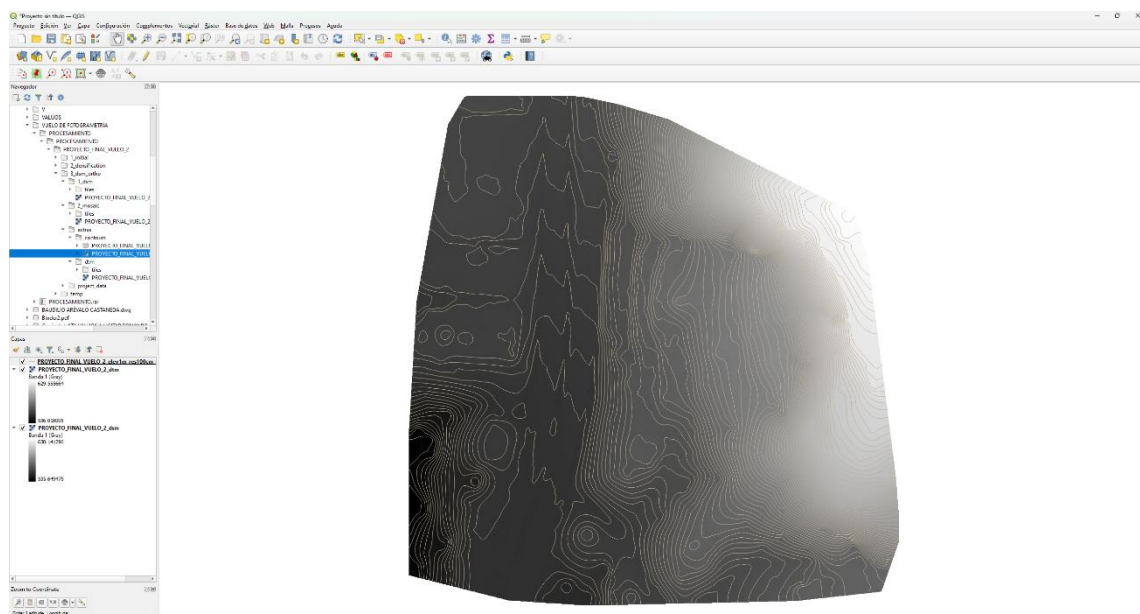


Figura 6-82. Sección de navegación y búsqueda de archivos que se están por utilizar.

Fuente. Elaboración Propia

Una vez se tiene identificados los archivos de interés se puede hacer uso de estos haciendo doble clic en el archivo o arrastrando el archivo justo a sección inferior de QGIS conocida como Capas, al tener los tres archivos, estos se reproducen de manera visual en la parte principal de la pantalla, debido al formato del mismo archivo, este automáticamente se muestra en una tonalidad

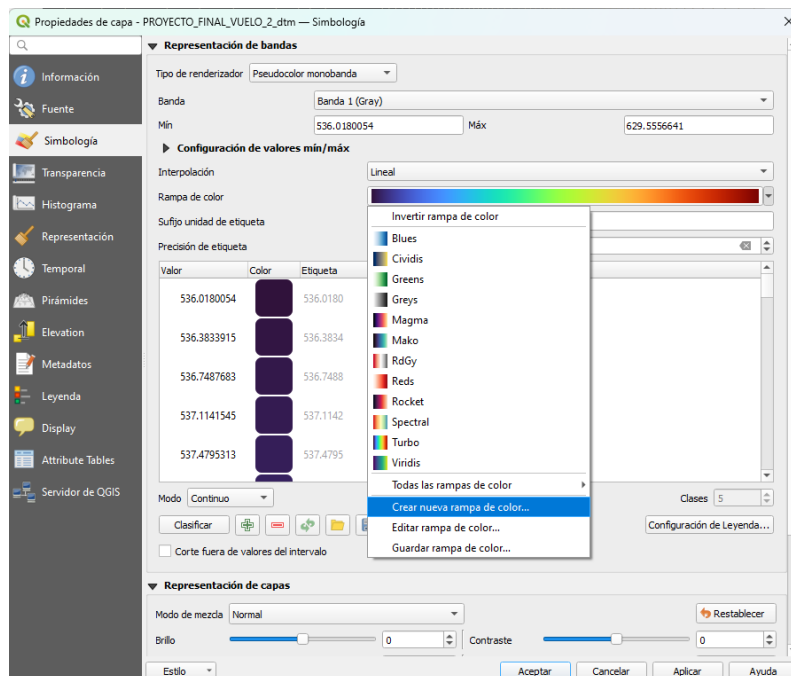
monocromática de forma gradiente entre las diferentes alturas de superficie y de terreno.



**Figura 6-83.** Vista inicial al tener las tres capas en función y estando activadas (Curvas de nivel, dsm, dtm).  
Fuente. Elaboración Propia

Es necesario tener una mejor interacción visual con el mapa. Para ello, cambiamos la tonalidad monocromática. Se hace doble clic en una de las capas (en este caso, se usará la capa de DSM). Al hacerlo, se abrirá una ventana con las propiedades de la capa. A la izquierda, se encuentran las funcionalidades que la capa o el archivo permiten, mientras que, en el centro, se muestra toda la información y las opciones de modificación. Para este proyecto, nos interesa la opción de “Simbología”. Dentro de ella, cambiaremos el tipo de renderizador a “Pseudocolor monobanda”. Por decisión personal y preferencias de cada persona, en este caso se usará una configuración de valores de interpolaciones

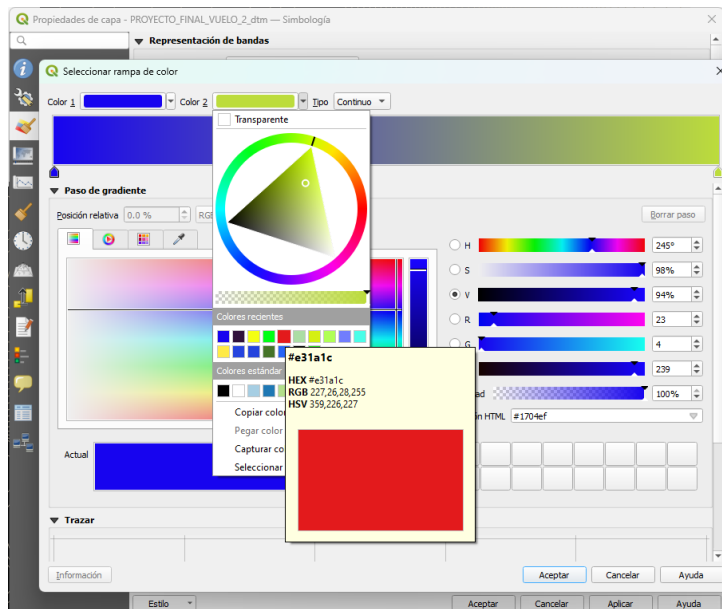
de tipo lineal. En la “Rampa de color”, se hace clic en la flecha y se despliega un listado donde se dará clic en “Crear nueva rampa de color”. Aparecerá una pequeña ventana donde se tiene la opción de gradiente y se hará clic en 'Aceptar'.



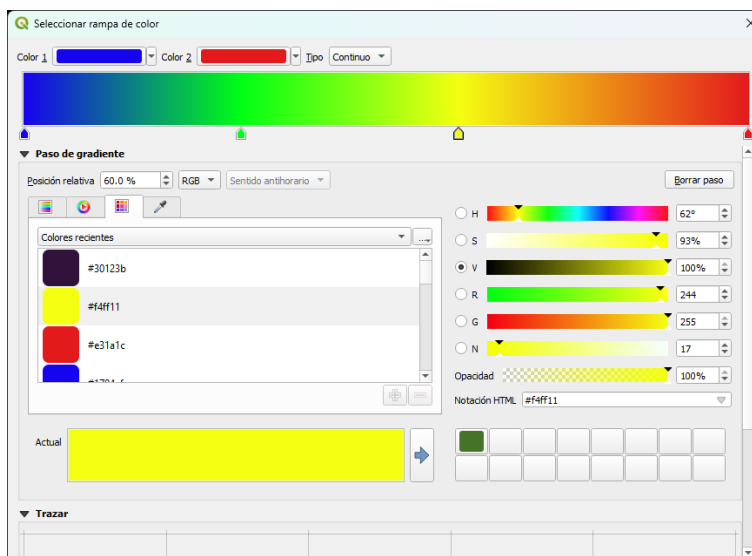
**Figura 6-84. Propiedades de la capa dtm donde se cambiará el tipo de simbología para una mejor representación visual.**

**Fuente. Elaboración Propia**

Se utiliza una preferencia de rampa de colores donde se usarán dos colores base, que son los colores escogidos que van de extremos a extremo, en este caso se usará el color azul para las elevaciones menores y el rojo para las elevaciones mayores, pero entre medio de este gradiente se usará otros dos colores (o los que se requiera) para tener una mejor visión de las diferencias de elevación.



**Figura 6-85. Selección de colores para la rampa de colores.**  
Fuente. Elaboración propia

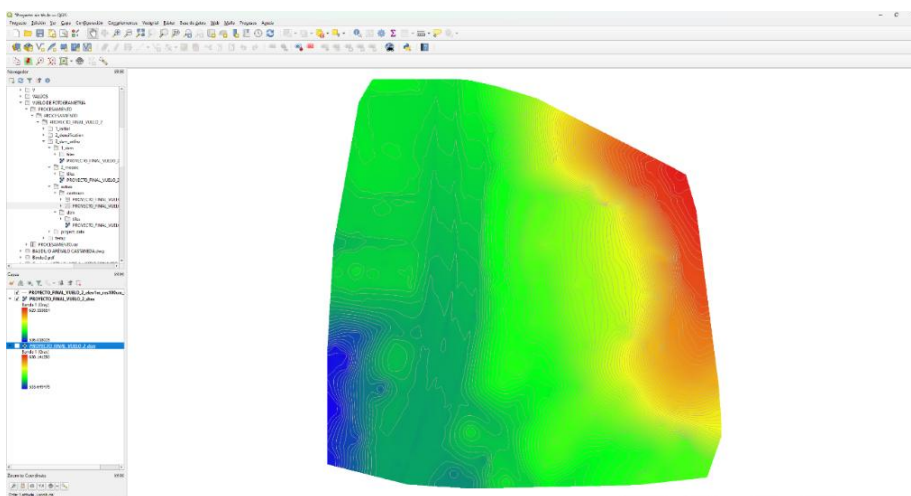


**Figura 6-86. Colores seleccionados y posición de relativa de cada uno de los colores seleccionados. Colores seleccionados en esta ocasión: #1704ef, #e31a1c, #00ff15, #f4ff11.**  
Fuente. Elaboración propia

Se usaron dos colores más en tono amarillo y verde entre la rampa de colores, esto se hace haciendo doble clic en una parte del gradiente de la rampa de

colores y aparecerá una nueva especie de sangría, de esta forma agregamos dos nuevos colores el cual se colocará en una posición relativa del 30% y 60%.

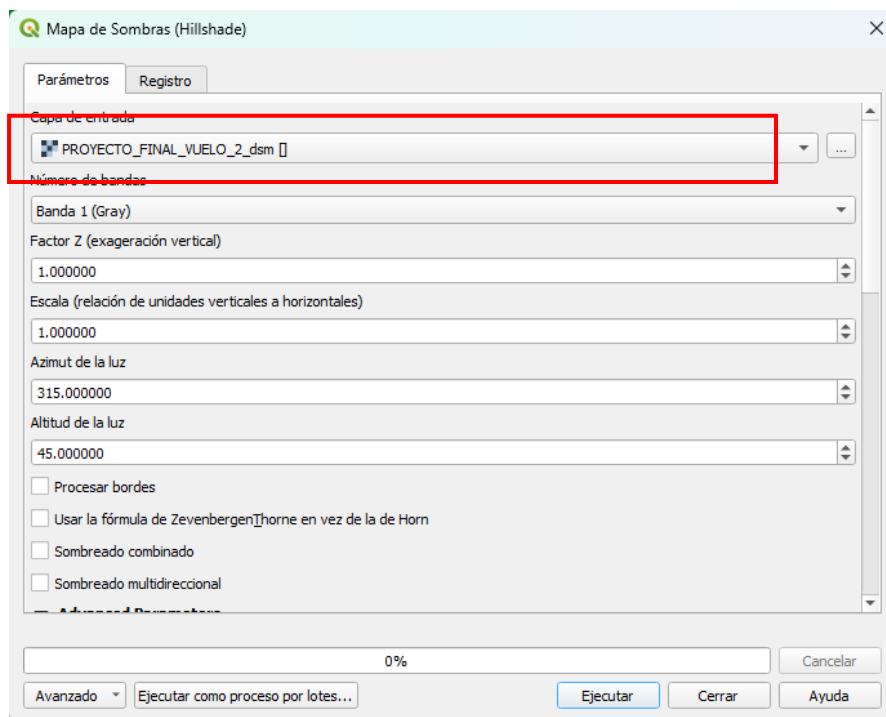
A un mayor conocimiento en colorimetría y creatividad, más opciones y una mejor representación visual.



**Figura 6-87. Modelo digital de superficie con una rampa de colores creada y el .shp de las curvas de nivel en él.**  
Fuente. Elaboración propia

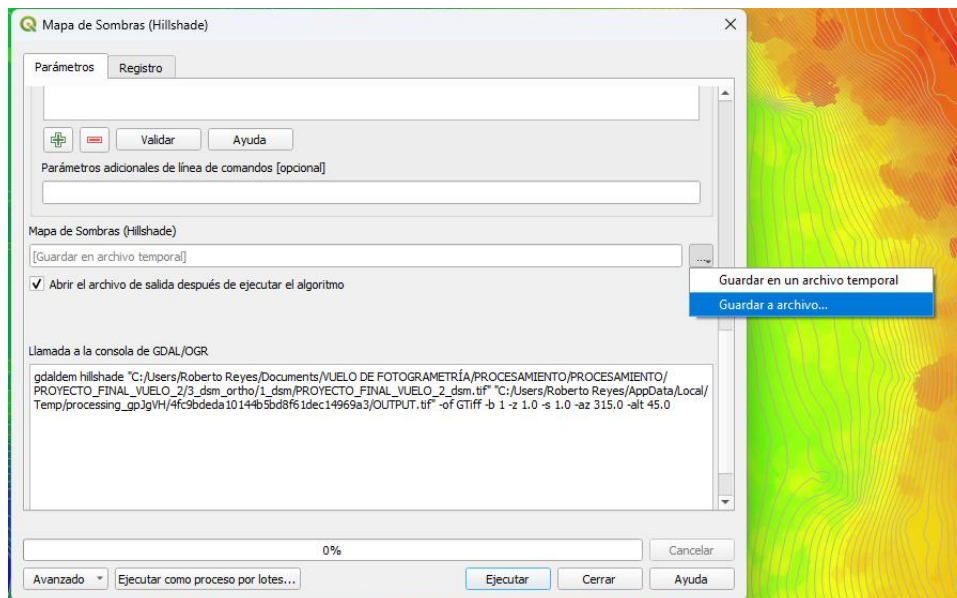
Se tiene un “mapa de calor” donde no hay una definición clara del lugar donde se hizo el levantamiento, por eso se hace uso de un “hillshade” donde se tenga una mejor visión del lugar.

En la barra de herramientas, se busca la pestaña de Ráster → Análisis → Mapa de Sobras (Hillshade) y se abrirá una ventana. En las siguientes dos imágenes se observa esta ventana, donde se tiene que asegurar que se está trabajando con la capa de dsm y la ubicación del Hillshade que se creará.



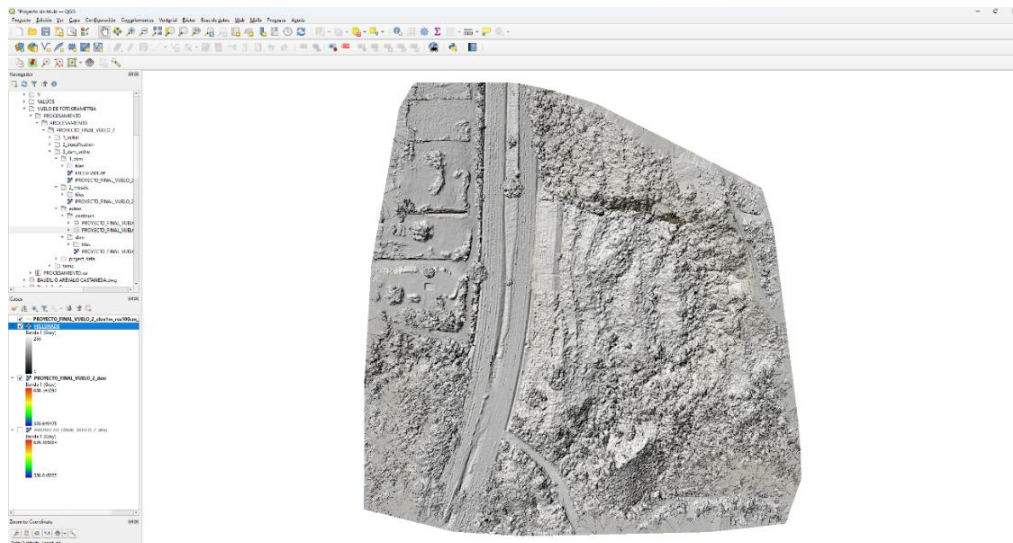
**Figura 6-88. Ventana de “Mapa de sobras” donde nos aseguramos de que estemos trabajando con la capa deseada.**

Fuente. Elaboración propia.

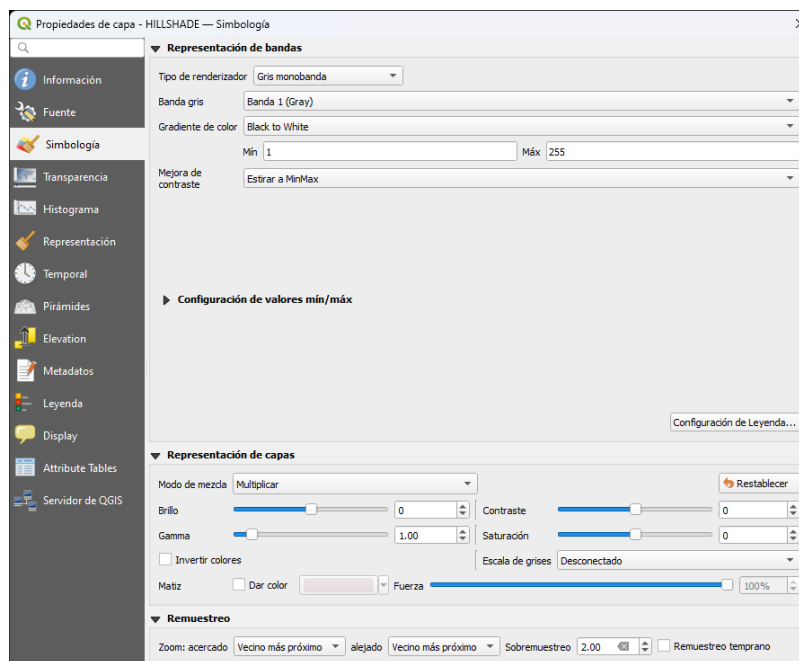


**Figura 6-87. Creación de archivo Hillshade y ejecución de este.**  
Fuente. Elaboración propia.

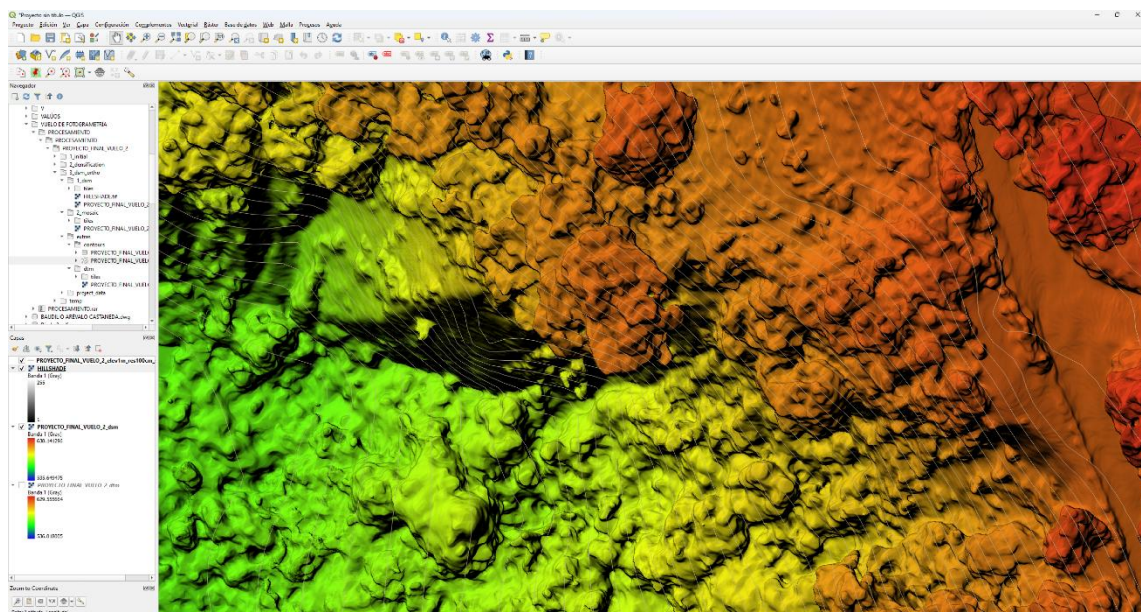
A manera de recomendación y el paso que se siguió en esta ocasión, el archivo guardado de "Hillshade" se guardó en el mismo lugar donde se encuentra el archivo dsm para que a futuro se tenga conocimiento certero de donde encontrarlo, este Mapa de Sobras lo que hace es que QGis lee el mapa de altura y con base a esto, este genera sombras de la altura del dsm, se ejecuta, habrá que esperar a que cargue, y generará una nueva capa, la capa de sobras, una capa que estará en una especie de escala de grises, ahora quedaría mezclar esta nueva capa con el dsm, se ubicará en la sección de capas, se da doble clic para que aparezca las propiedades de la capa, siempre en el apartado de simbología, en sección de "Representación de capas", en el Modo de mezcla, se da la opción de Multiplicar, se da "ok" y se observa cómo se mezclan las capas para tener un modelo bastante definido de la zona.



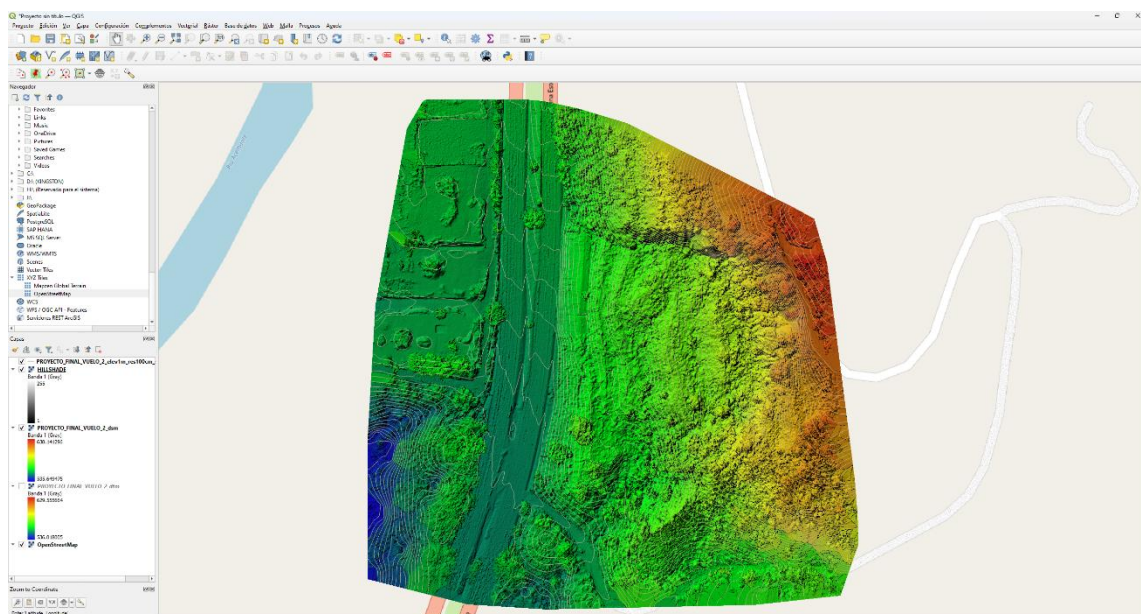
**Figura 6-88. Mapa de Sobras (Hillshade) creado por medio del Ráster.  
Fuente. Elaboración propia**



**Figura 6-89. Se da la opción de Multiplicar ejecutamos los cambios.  
Fuente. Elaboración propia**



**Figura 6-90.** Definición de la imagen del modelo digital de superficies y sus respectivas curvas de nivel, una vez hallamos creado un ráster del levantamiento.  
Fuente. Elaboración propia



**Figura 6-91.** Sección del levantamiento con la capa de Street View de fondo para una visión general de dónde en el mundo no se encuentra haciendo el análisis del levantamiento.  
Fuente. Elaboración propia

El trabajo está finalizado, pero esta información solo puede ser usada desde el computador del cual se creó el proyecto. Se necesita de un "empaquetador" para que cualquier persona, en cualquier computadora de cualquier parte del mundo, lo pueda utilizar.

Si no se tienen los complementos necesarios, se descargarán e instalarán, en la barra de herramientas, en la pestaña de complementos → administrador e instalación de complementos. En la parte izquierda en "Configuración" habrá que asegurarse de que estén marcadas las opciones de "Mostrar también los complementos experimentales". Luego se regresará a la pestaña de "Todos" y se buscará el complemento llamado QConsolidate3 y en la parte inferior derecha se hace clic en "Instalar complemento".

Se cierra la ventana y se regresará a la pestaña de complementos, el nuevo complemento se ha instalado y se hace clic. Aparecerá una ventana pequeña, donde se buscará una carpeta en específico donde el trabajo se guardará, se coloca un nombre al proyecto. Si se compartirá el trabajo de forma física (USB, móvil, etc.), no es necesario activar la pestaña 'Consolidar en un archivo Zip'. En caso de que se envíe el archivo por medio de internet, lo ideal es enviar el archivo '.zip' que se genera al activar esa función. Haz clic en 'Aceptar' y los archivos se crearán en el fichero asignado.

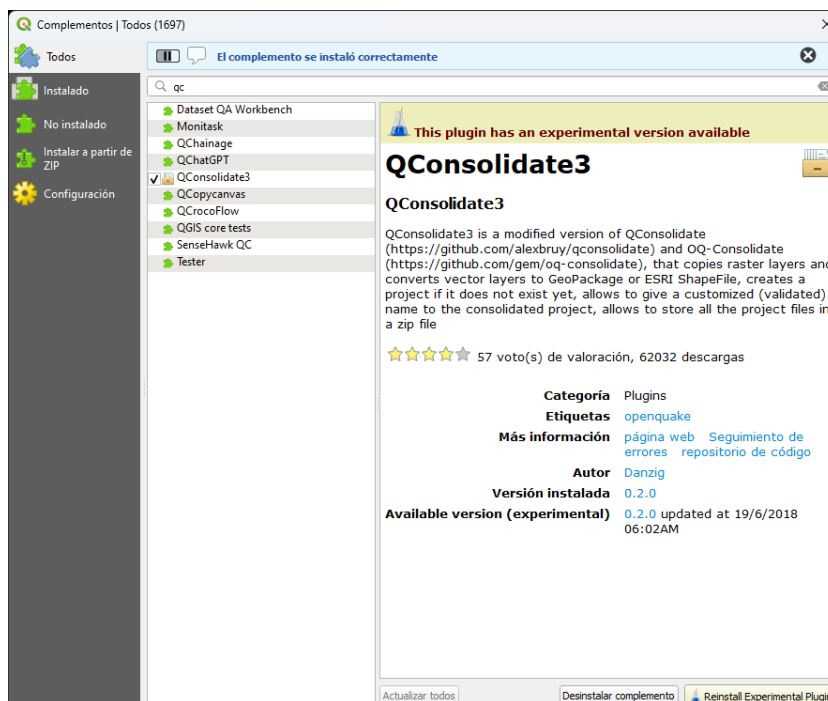


Figura 6-92. Instalación del complemento QConsolidate3

Fuente. Elaboración propia

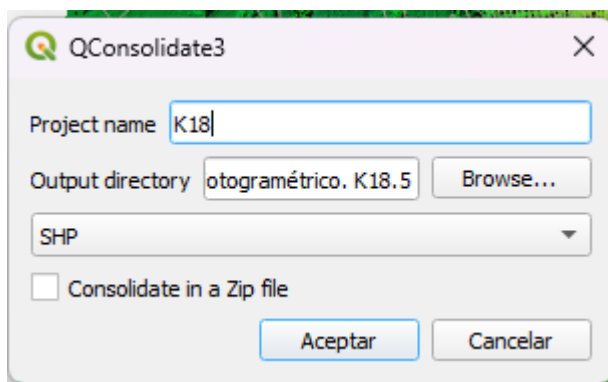
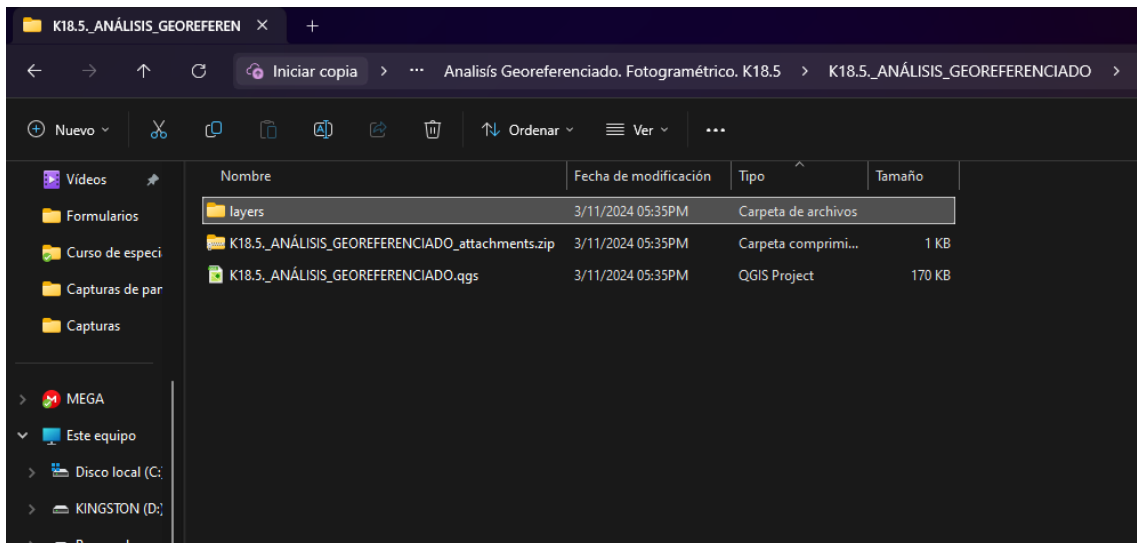
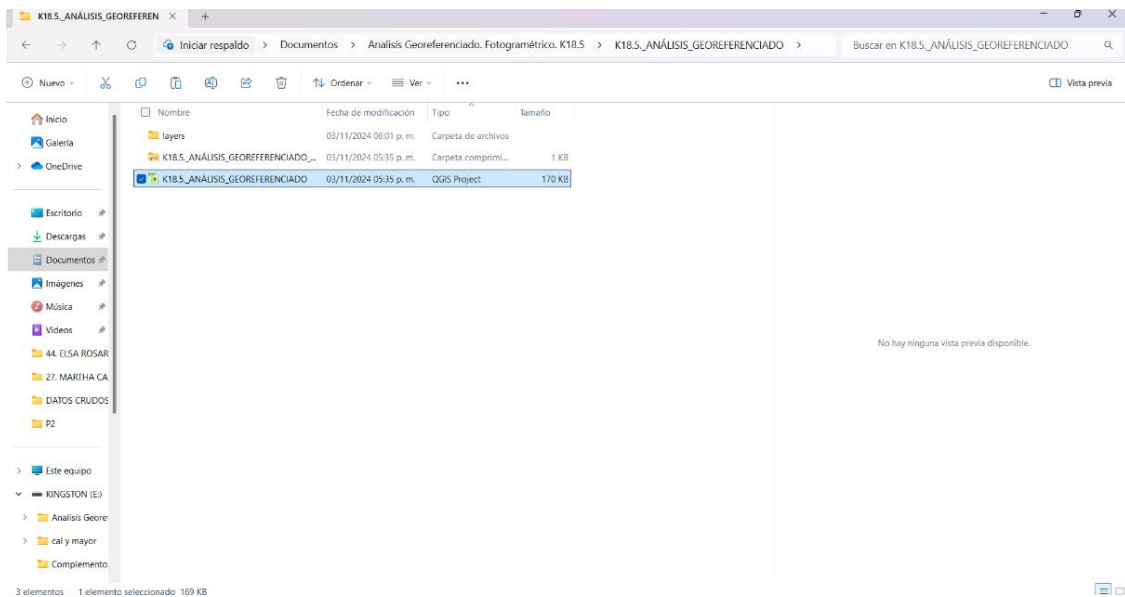


Figura 6-93. Empaquetamiento de proyectos en QGis por medio de QConsolidate3

Fuente. Elaboración propia



**Figura 6-94. Ficheros generados por medio de QConsolidate3 para empaquetamiento de proyectos**  
**Fuente. Elaboración propia**



**Figura 6-95. Mismo proyecto ejecutado en otro ordenador.**  
**Fuente. Elaboración propia**

Habrá que copiar desde la carpeta original que se escogió donde se guardará el proyecto. Cuando se est  en otro ordenador, habrá que dirigirse al archivo de tipo “.qgs” y se ejecutará.

## **6.8 Evaluación de las condiciones actuales del talud y su inestabilidad potencial**

### **6.8.1 Indicadores de inestabilidad superficial**

La inestabilidad de un talud se manifiesta a través de diferentes rasgos del terreno, tales como su morfología, relieve, drenaje y vegetación, los cuales permiten evaluar su estado actual.

#### **Estructuras y deformaciones**

Se realizó un reconocimiento de la infraestructura del muro de gavión y su entorno inmediato. Se identificó una deformación visible a la altura del hombro de la carretera. Al inspeccionar el muro de cerca, se constató que las barbacanas presentan un estado de deterioro avanzado, además de una evidente falta de mantenimiento en los cordones cunetas.

En la parte superior del muro de gavión, se observó la presencia de una carpeta de material plástico de color negro anclada con estacas de madera, como una medida temporal para prevenir deslaves. Según testimonios locales, este método ha sido utilizado durante varios años.

Adicionalmente, se identificó una estructura tipo muro, construida con rocas de mayor tamaño y diferente al muro de gavión aledaño. Esta estructura cuenta con conductos o tubos de color negro, con una longitud aproximada de 2 y 3 metros, los cuales parecen cumplir la función de barbacanas o como medio de desalojo del agua subterránea acumulada. Dicho muro se encuentra al final del muro de gavión, en dirección norte.



**Figura 6-96: Deformación visible del muro de gavión a la orilla de la carretera de Oro.**

**Fuente: Elaboración propia**



**Figura 6-97. Se muestra recubrimiento de la parte baja del talud utilizando carpeta (plástico negro) y estacas de madera**  
Fuente: Elaboración propia.



**Figura 6-98. Se muestra destrucción de estructura de bloques de piedra irregulares, con una apariencia tosca y poco profesional**  
Fuente: Elaboración propia

### Escorrentía superficial y sistema de drenaje actual

Se observó que, en la parte alta del muro de gavión, se encuentra un sistema de drenaje superficial hecho de tubos de PVC y colocados superficialmente, estos conectan con cajas de agua, una de ellas se encontró totalmente llena de agua estancada, al observar el funcionamiento de dicho sistema este sistema termina de alguna manera conduciendo la escorrentía pluvial al sistema de aguas pluvial de la carretera.



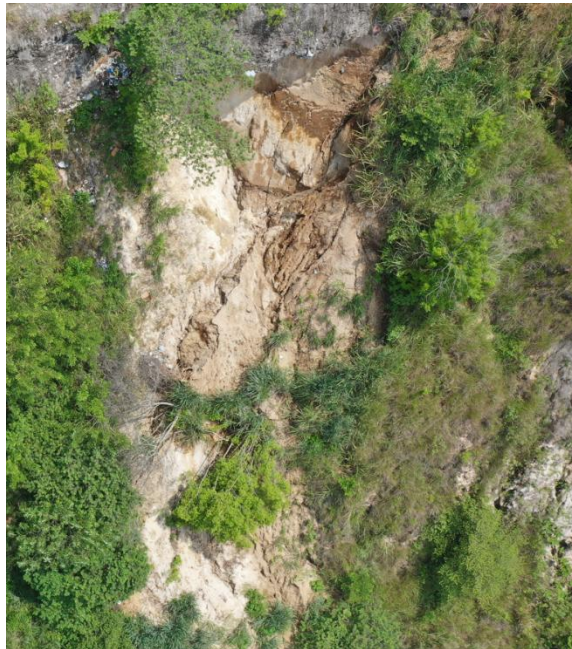


Figura 6-99. Se muestran elementos relacionados con la escorrentía pluvial del talud.

Fuente: Elaboración propia.

### **Árboles inclinados y escarpes**

Los árboles inclinados indican la presencia de la inestabilidad, estos vienen acompañados en su mayoría de escarpes o abultamientos de tierra que sobresalen del entorno, con características que incluyen pendientes muy pronunciadas y poca o nula vegetación, además de presentar color y aspecto según el tiempo que haya transcurrido, entre más descubierto y menos vegetación presenta, más reciente es.



**Figura 6-100.** Se muestra el escarpe cercano a la corona del talud, fotografía aérea tomada por el dron mientras ejecutaba el plan de vuelo.

**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 6-101.** Se muestra el escarpe cercano a la corona del talud, fotografía aérea tomada por el dron mientras ejecutaba el plan de vuelo.

**Fuente:** Elaboración propia

### Desplazamiento de material

Se constató la existencia de desprendimientos de tierra y sedimentación en el cordón cuneta, también encima del sistema de aguas lluvias en la corona del muro de gavión, además de un botadero de desechos sólidos en la parte alta del talud, lo que incrementa la inestabilidad del área mediante lixiviados y escorrentía pluvial.

Según testimonios de habitantes y personas que frecuentan el sitio, cada invierno se producen desprendimientos de suelo, principalmente en los costados de la ladera.



Figura 6-102. Se muestra sedimentación acumulada, la presencia de vegetación indica en ella indica que lleva varios días.

Fuente: Elaboración propia



**Figura 6-103. Se muestra acumulación de sedimentación que, por su aspecto, parece ser muy reciente.  
Fuente: Elaboración propia**



**Figura 6-104. Se muestra parte de la corona del talud con presencia de desechos solidos.  
Fuente: Elaboración propia**

## Grietas

Se identificó la presencia de erosión superficial, así como grietas longitudinales de hasta 2 cm de ancho. En la base del talud, se observó acumulación de material suelto, lo que sugiere la ocurrencia de desprendimientos recientes. Además, las fotografías aéreas y la ortografía producida en el trabajo de gabinete coinciden en que existen grietas considerables en zonas de difícil acceso. Estas grietas se encuentran en su mayoría en la corona del talud.



**Figura 6-105.** Fotografía aérea tomada por el dron mientras realizaba el plan de vuelo en el que se muestran fisuras de considerable tamaño y profundidad cercanas a la corona del talud.

Fuente: Elaboración propia



**Figura 6-106.** Se muestra una fisura considerable encontrada en la corona del muro de gavión.

**Fuente:** Elaboración propia

Se identificó la presencia de erosión superficial, así como grietas longitudinales de hasta 2 cm de ancho. En la base del talud, se observó acumulación de material suelto, lo que sugiere la ocurrencia de desprendimientos recientes.

### **6.8.2 Análisis geométrico del talud y su relación con la inestabilidad potencial**

#### **Altura, ancho y pendiente del talud.**

Dada a la ausencia de un enfoque multidisciplinario de estudio y de un criterio definido para delimitar el talud en el área del levantamiento topográfico, se deben utilizar métodos gráficos para aproximar sus dimensiones, para estudios preliminares de estabilización u obras de contención eficaces. Esta metodología

utiliza el plano topográfico y múltiples perfiles equidistantes con el objetivo de comparar los perfiles que mejor representen la forma y pendiente del talud y descartar los perfiles más aplanados o con pendientes más suaves.

Para establecer el talud aproximado, se escoge uno o varios perfiles que se muestren coincidentes o muestren un patrón claro. De estos se selecciona el perfil con mayor pendiente, buscando así una condición de alta peligrosidad.

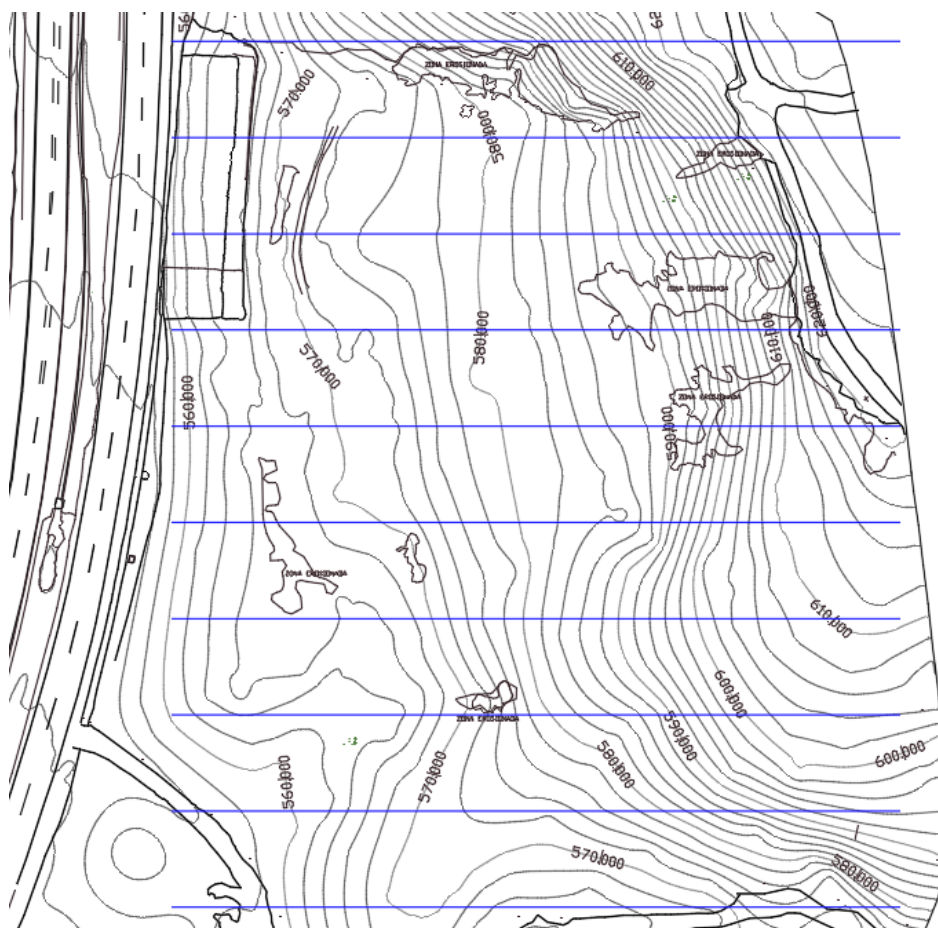
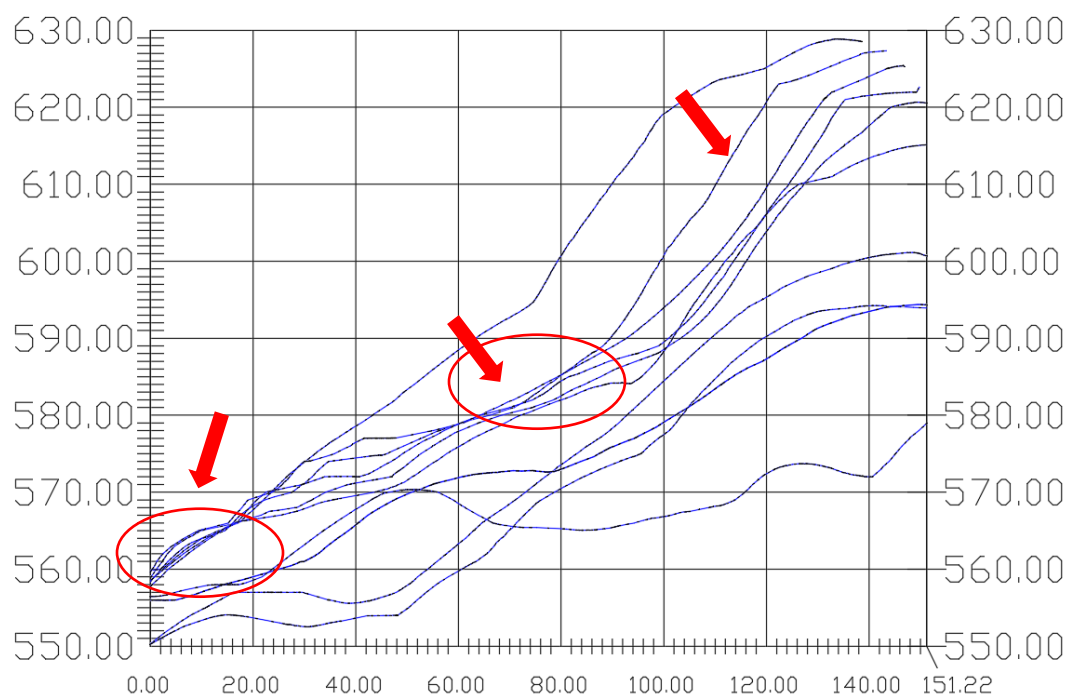


Figura 6-107. Se muestran diferentes perfiles perfiles, separados por 20 mts entre sí, sobre el área del levantamiento topográfico.

Fuente: Elaboración propia



**Figura 6-108. Se muestra diferentes perfiles simultáneos en donde se observa las coincidencias entre sí**  
**Fuente: Elaboración propia**

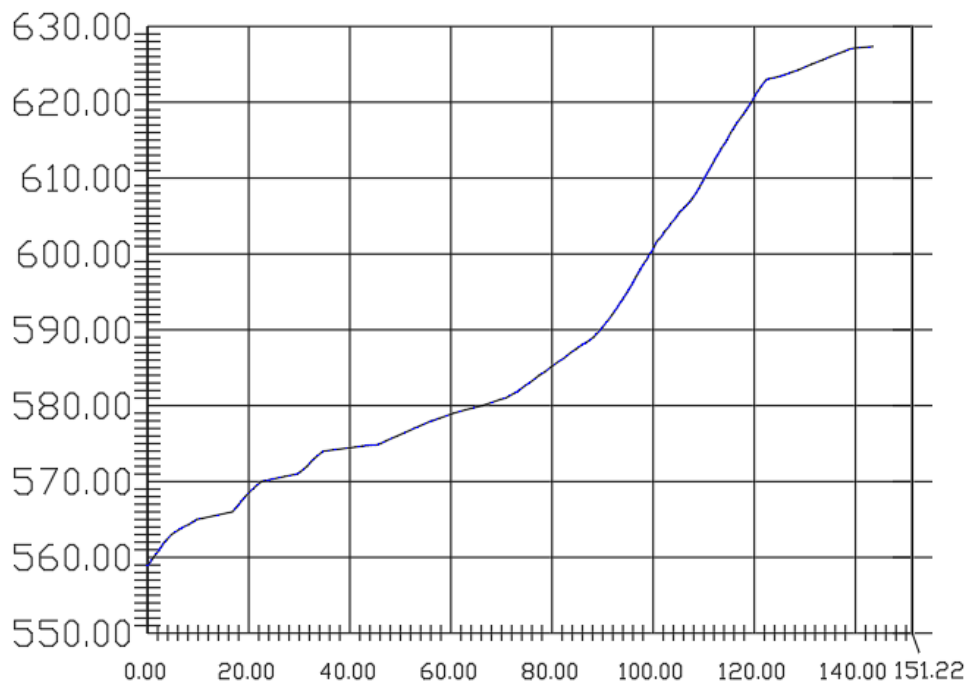


Figura 6-109. Se muestra el perfil definitivo del talud.

Fuente Elaboración propia.

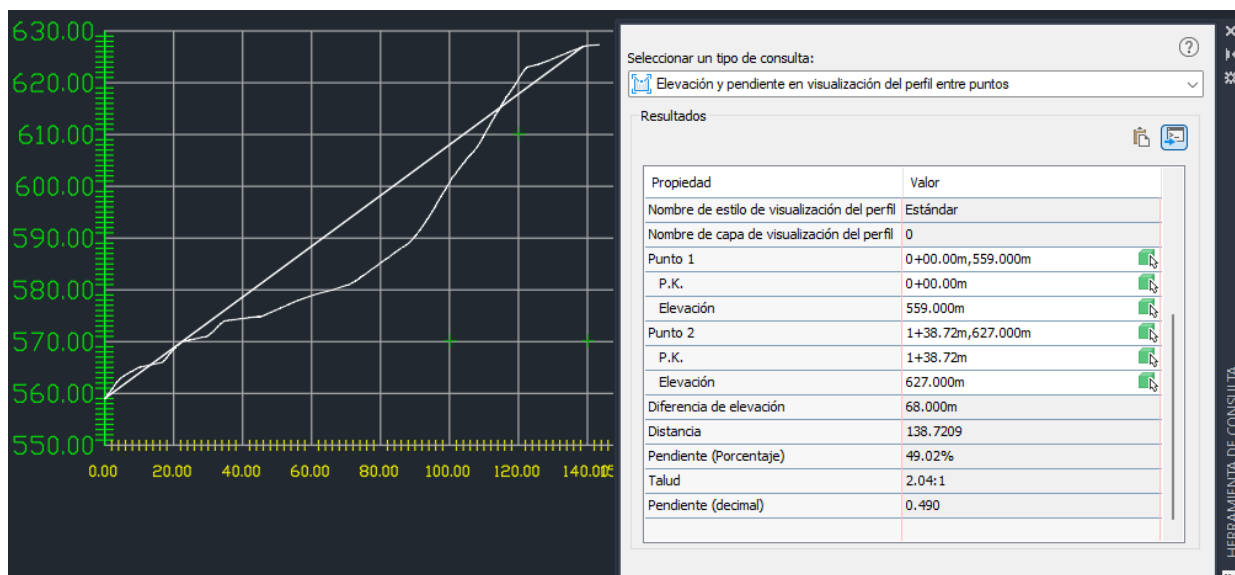


Figura 6-110. Se muestra análisis de perfil utilizando AutoCAD 3D (Versión estudiantil) seleccionando dos puntos, uno al pie y otro en la corona del talud.

Fuente: Elaboración propia.

### **Respuestas finales**

**La altura: 68 mts**

**El ancho: 138.72 mts**

**Pendiente entre el pie y la corona del talud: 49.02%**

**Pendiente máxima: 103% (relación 1.09:1).**

Estos datos geométricos nos permiten obtener una preliminar forma del talud en su condición más desfavorable.

#### **6.8.3 Estudios necesarios para solucionar la problemática del talud.**

Para estabilizar el talud se necesitan estudios más profundos, entre ellos el levantamiento topográfico del talud para obtener información detallada del relieve y alturas del terreno mediante curvas de nivel, este aspecto se ha realizado en este trabajo de investigación, además se requiere estudios e información de otras áreas de la ingeniería civil como son:

- **Dimensiones del Talud:** Profundidad y longitud previstas para el talud estable.
- **Condiciones Hidrológicas:** Posición del nivel freático y un estudio hidrológico del área.
- **Geología y Litología:** Identificación de los tipos de suelo y roca, así como la estructura geológica del terreno.

- **Requisitos del Proyecto:** Definir si el talud es para corto o largo plazo, lo cual influye en los criterios de diseño.

Esta información debe recopilarse a través de una investigación organizada del sitio, que incluye las siguientes etapas principales:

### **Etapas 1:**

#### **Reconocimiento Previo del Sitio: Inspección visual detallada para identificar:**

La primera etapa corresponde en su mayor parte al levantamiento topográfico del talud y otros datos pueden ser interpretados o estudiados mediante los insumos géneros de parte del trabajo de gabinete de este trabajo de investigación.

- Pendientes y alturas del talud.
- Signos de erosión.
- Presencia de vegetación.
- Indicadores de reptación del suelo.
- Presencia de agua superficial o escorrentía.
- Existencia de grietas.
- Estratificación del suelo.
- Construcciones cercanas que puedan influir en la estabilidad.

### **Etapas 2: Análisis de Información Existente**

Considerar la presencia de sobrecargas externas, como edificaciones u otras obras civiles, que puedan ejercer presión sobre el talud y afectar su estabilidad.

### **Etapas 3: Estudio Geológico**

Investigación para determinar la disposición de los materiales y estratos del terreno, clasificándolos según sus características litológicas y formaciones geológicas.

### **Etapas 5**

#### **Investigación Geotécnica general:**

- **Extensión:** El área de investigación debe ser al menos el doble del área potencialmente afectada por el talud.
- **Calicatas:** Excavación de pozos a cielo abierto en suelos y rocas muy meteorizadas para obtener muestras de suelo inalterado para ensayos de laboratorio.
- **Sondeos:** Perforaciones a lo largo del talud (corona, cuerpo y pie) para investigar la geología en profundidad, tomar muestras para ensayos e instalar piezómetros para medir niveles freáticos. El número de sondeos varía según la complejidad geológica y longitud del talud. La profundidad de los sondeos debe superar la posible superficie de falla.

**Sísmica de Refracción:** Recomendable realizar estudios sísmicos a lo largo del perfil del talud para:

- Estimar la ripabilidad de los materiales.
- Determinar el espesor de materiales alterados. Estos estudios deben cubrir toda la longitud del talud o tramos representativos.

**Los ensayos geotécnicos más importantes para el diseño de taludes son:**

- Ensayos de clasificación e identificación de suelos.
- Ensayos de corte directo en suelos y rocas.
- Estudios de discontinuidades en macizos rocosos.
- Ensayos de compresión simple.

**Etapa 6**

**Modelación Matemática**

Desarrollo de modelos matemáticos para simular el comportamiento del talud bajo diferentes condiciones.

**Etapa final**

**Análisis y Diseño**

Realización del análisis de estabilidad del talud y diseño de las medidas de estabilización necesarias.

## **CAPÍTULO 7. RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES**

### **7.1 Conclusiones.**

Para realizar un adecuado estudio de laderas en sitios con alta vulnerabilidad mediante la modalidad de vehículos aéreos no tripulados, es necesario contar con un conocimiento sólido de los sistemas globales de navegación por satélite (GNSS). Estos deben complementarse con conceptos de sistemas de referencia globales y locales, técnicas de medición con equipos satelitales como RTK NTRIP y el uso adecuado de estos instrumentos. También es fundamental comprender las diferencias entre coordenadas planas y elevación, los modelos de geoide (EGM2008), y las estaciones de monitoreo permanentes para mejorar la precisión en el momento de realizar la georreferenciación. Términos como elipsoide de referencia y datum, coordenadas geográficas, el conocimiento de conceptos en fotogrametría es indispensable como también el proceso básico por el cual se obtienen puntos superficiales para construir los Modelos Digitales de Superficie (MDS) Y Modelos Digitales de terreno (MDT), todo ello permite el uso de vehículos aéreos no tripulados (drones), convirtiendo a estos dispositivos en instrumentos topográficos de gran alcance. Los drones facilitan una rápida obtención de datos y brindan mayor seguridad en los procesos de levantamiento topográfico, ya que reducen considerablemente el riesgo asociado al estudio de laderas inestables.

Se deben dominar los software de procesamiento de imágenes aéreas y dibujo asistidos por computadora, que permitan la extracción de información importante desde la nube de puntos o curvas de nivel, como Pix4dMapper, AutoCAD Civil 3D, Global Mapper, Qgis entre otros.

### **Levantamiento topográfico**

- El levantamiento topográfico realizado abarcó una superficie total de 62317 m<sup>2</sup> (89262 v<sup>2</sup>) y una precisión topográfica de 0.014 m (14 mm).
- Del procesamiento proveniente del trabajo de gabinete se obtuvo una nube de puntos densificada con un total de 32764580 puntos (X, Y) y Elevación (Z).
- Se obtuvo un tiempo empleado total aproximado para realizar el levantamiento topográfico de comienzo a fin de 12.5 h, en el cual el tiempo empleado en el trabajo de campo fue de 2.5 h y en el trabajo de gabinete fue de 10 h y con el 100% de las 347 fotografías aéreas procesadas con éxito.

### **Inestabilidad del Talud**

- El talud presenta signos de inestabilidad debido a la erosión, la presencia de agua superficial y escorrentía, además de la existencia de grietas y estratificación del suelo. Se han identificado indicadores superficiales de inestabilidad que requieren monitoreo continuo.

- Se observó que el muro de gavión construido para la protección del talud ha cedido, y el sistema de drenaje no está funcionando adecuadamente. Esto incrementa el riesgo de deslizamiento en caso de eventos sísmicos o lluvias intensas
- La inestabilidad del talud representa un peligro para la Carretera de Oro, ya que un posible deslizamiento podría bloquear ambos carriles, afectando el tránsito vehicular y el transporte de mercancías
- Como pendientes predominantes, el talud presenta pendiente máximas registradas que varían entre 98% y 111%.
- El uso de drones y equipo GPS permitió obtener datos precisos para el estudio y análisis del talud.

## 7.2 Recomendaciones.

- **Levantamiento topográfico.**

-Verificar los eventos climatológicos y, mediante los pronósticos y observación del día, planificar adecuadamente las visitas al sitio. Durante estas visitas, identificar posiciones estratégicas, para colocar puntos de control. Además, llevar implementos necesarios como herramientas para cortar vegetación e insumos personales.

-Antes de realizar la primera visita, inspeccionar la ubicación mediante herramientas satelitales. Esto permitirá planificar procedimientos de inspección, identificar posibles sitios de parqueo, establecer rutas de viaje y prever problemas como la falta de acceso a internet o señales deficientes en ciertas áreas de la zona de estudio.

-Utilizar las curvas de nivel generadas en el procesamiento de datos para trabajar cómodamente. Evitar el uso de la nube de puntos de cualquier tipo, debido a que utiliza elevados recursos de computadora que podría provocar un funcionamiento inadecuado.

-Realizar un vuelo de prueba inicial para calibrar correctamente las alturas, evaluar las vistas de las imágenes y determinar hasta dónde debe fotografiar el dron. Este primer vuelo debe ser breve, mientras que un segundo vuelo, más completo, servirá para recopilar los datos definitivos.

-Realizar un segundo levantamiento topográfico para registrar la evolución de la ladera. Esta información será valiosa para documentar y analizar la estabilidad de otras laderas en El Salvador.

-Utilizar computadoras con especificaciones altas para garantizar un rendimiento eficiente durante el procesamiento de datos. Características mínimas:

-Sistema operativo: Windows 10 u 11 o versiones superiores.

-Memoria RAM: Más de 16 GB como mínimo.

-Procesador: Intel i7 de 10ª generación o superior; preferiblemente i9 u otros.

-Tarjeta de video NVIDIA con características que mejoren el rendimiento para el procesamiento (también pueden ser modelos diseñados para videojuegos).

-Fuente de energía ininterrumpida (UPS) para garantizar la seguridad durante el procesamiento prolongado.

- **Solución al problema de estabilidad de ladera.**

La estabilidad de una ladera se alcanza mediante la implementación de obras de mitigación y contención. Estas obras se deben fundamentar en los resultados de estudios multidisciplinarios previos. En este contexto, se requiere la ejecución de cortes para el diseño adecuado del talud. Asimismo, se hace necesaria la sustitución del muro gavión existente por un muro de retención de mayores dimensiones y dotado de un sistema de

drenaje eficiente. Adicionalmente, el diseño de un sistema integral de aguas lluvias para todo el área de la ladera es imprescindible, considerando la totalidad de la superficie del nuevo talud y no limitándose únicamente a la base. Finalmente, se recomienda la reforestación de la ladera, también técnicas de control para la erosión como la hidrosiembra y el uso de geomantas así como la implementación de mantenimientos periódicos y un monitoreo continuo para asegurar su estabilidad a largo plazo.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Cientec Instrumentos Científicos. (s. f.). *¿Qué es la geodesia?*  
Recuperado de <https://cientecinstrumentos.cl/que-es-la-geodesia/>
2. Piñero, A. (2019). *Cómo se concebía el universo en Mesopotamia y la cosmología bíblica*. El blog de Antonio Piñero. Recuperado de [https://www.religiondigital.org/el\\_blog\\_de\\_antonio\\_pinero/concebiam-universo-Mesopotamia-cosmologia-biblica\\_7\\_2143355651.html](https://www.religiondigital.org/el_blog_de_antonio_pinero/concebiam-universo-Mesopotamia-cosmologia-biblica_7_2143355651.html)
3. Llul, J. (2006). *La astronomía en el antiguo Egipto*. Universidad de Valencia.
4. Pigafetta, A., & Skelton, R. A. (1994). *Magellan's voyage: A narrative account of the first circumnavigation*. Courier Dover Publications.
5. Esri. (s. f.). *GeoIDE—ArcGIS Pro*. Recuperado de <https://pro.arcgis.com/es/proapp/latest/help/mapping/properties/geoid.htm>
6. DJI. (2021, 11 de marzo). *Geoide vs elipsoide: ¿Cuál es la diferencia y por qué es importante?* Recuperado de <https://djiarsmadrid.com/es/blog/dji-news/geoide-vs-elipsoide-cual-es-la-diferencia-y-por-que-es-importante>
7. Esri. (s. f.). *Qué son los sistemas de coordenadas geográficas—ArcMap*. Recuperado de: <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/map/projections/about-geographic-coordinate-systems.htm>

8. IBM. (s. f.). *Db2 Warehouse on Cloud*. Recuperado de:  
<https://www.ibm.com/docs/es/db2woc?topic=SS6NHC/com.ibm.db2.luw.spatial.topics.doc/doc/csb3022b.html>
9. Universidad de Murcia. (2006, 13 de febrero). *Cartografía y geodesia: Sistemas de proyección*.  
Recuperado de:  
<https://www.um.es/geograf/sigmur/temariohtml/node4.html>
10. Martín, A. (2020, agosto). *Sistema de referencia geodésicos*. Complutense University of Madrid.  
Recuperado de: [https://www.researchgate.net/publication/343627274\\_4-SISTEMAS\\_DE\\_REFERENCIA\\_GEODESICOS](https://www.researchgate.net/publication/343627274_4-SISTEMAS_DE_REFERENCIA_GEODESICOS)
11. Wikiwand. (s. f.). *North American datum*. Recuperado de  
[https://www.wikiwand.com/en/articles/North\\_American\\_Datum](https://www.wikiwand.com/en/articles/North_American_Datum)
12. Olaya, V. (s. f.). *Sistemas de Información Geográfica. Un libro libre de Víctor Olaya*. Recuperado de <https://volaya.github.io/libro-sig/index.html>
13. Wingtra. (s. f.). *Cómo evaluar la precisión de los resultados en Pix4D*.  
Recuperado de <https://knowledge.wingtra.com/es/como-evaluar-la-precision-de-los-resultados-pix4d>
14. Sosa Kramer, I. (s. f.). *Los puntos de control en fotogrametría*.  
Recuperado de: <https://es.linkedin.com/pulse/los-puntos-de-control-en-fotogrametr%C3%ADa-ivan-sosa-kramer>

15. Pix4D. (s. f.). *Quality report help—PIX4Dmapper*. Recuperado de <https://www.pix4d.com>
16. Autodesk. (2023). Documentación de Autodesk Civil 3D 2023. Autodesk. Recuperado de: <https://help.autodesk.com/view/CIV3D/2023/ESP/?guid=GUID-C8D8B7E2-D2E5-460A-ABE7-C4131C85295E>
17. Material didáctico visto en Tecnología GPS y sensores remotos para proyectos de ingeniería civil, Ing. Wilfredo Amaya 2023.
18. Centro Nacional de Prevención de Desastres. (s.f.). *7 Fascículo: Inestabilidad de laderas*. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/796473234/7-FASCICULOINESTABILIDADDELADERAS>

## **ANEXOS.**

### **9.1 Glosario**

#### **A**

**Altura de vuelo:** Elevación con respecto a donde despegó el dron, elevación determinada respecto a las necesidades del vuelo.

**Altura elipsoidal:** diferencia entre el elipsoide de la Tierra y la coordenada de un punto en la superficie terrestre.

**Andesita:** roca ígnea volcánica de composición intermedia. Su composición mineral comprende generalmente plagioclasa y varios minerales ferromagnéticos como piroxeno, biotita y hornblenda. También puede haber cantidades menores de sanidina y cuarzo.

**AutoCAD Civil 3D:** Software de diseño para ingeniería civil que te permite optimizar tus flujos de trabajo en un entorno BIM.

**Arco Volcánico:** zona que se extiende por 1500 km formada por volcanes que se extiende desde Guatemala hasta llegar a Panamá, pasando por el Salvador, Honduras y Nicaragua.

#### **C**

**Canaleta:** Estructura de forma geográfica definida creada para que las aguas pluviales hagan un recorrido específico.

**Caudal:** cantidad de fluido que pasa por un lugar en un tiempo determinado. Se mide en unidades de volumen por unidad de tiempo.

**Cenozoico:** era geológica que comenzó hace unos 65 millones de años y abarca hasta la actualidad.

**Coordenadas geográficas:** sistema de referencia que permite localizar un punto en la superficie de la Tierra mediante un par de valores numéricos: la latitud y la longitud.

**Cretácico:** división de la escala temporal geológica que pertenece a la Era Mesozoica. Ocupa el tercer y último lugar siguiendo al Jurásico. Comenzó hace 145 millones de años y terminó hace 66 millones de años.

**Curvas de nivel:** líneas que unen puntos de igual altitud en un mapa topográfico, y que permiten representar el relieve de un territorio.

## D

**Dacita:** roca ígnea volcánica con alto contenido de hierro. Su composición se encuentra entre las composiciones de la andesita y de la riolita y, al igual que la andesita, se compone principalmente de feldespato plagioclasa con biotita, hornblenda, y piroxeno.

**Datum:** es un conjunto de parámetros que definen el tamaño, la forma y la orientación de un elipsoide de referencia utilizado para modelar la Tierra.

**Diana:** Representación física de un punto de control fotogramétrico con el fin de ser visible desde lo alto del dron, puede ser formas geométricas semejantes a los blancos del tiro con arco.

## E

**Elipsoide:** figura geométrica tridimensional que se asemeja a la forma de la Tierra, utilizada como modelo matemático en geodesia y cartografía.

**Elipsoide de referencia:** superficie geométrica que se utiliza para aproximar la forma de la Tierra, o de cualquier otro planeta, a la realidad.

**Escorrentía:** flujo de agua de lluvia que se desplaza sobre la superficie del terreno, ya sea por no ser absorbida o por rebasar su cauce.

**Equipo GPS:** es un instrumento GNSS que utiliza uno o varios sistemas de navegación por satélite con el fin de obtener una posición determinar de un lugar, en el contexto de El salvador “Equipo GPS” se utiliza como sinónimo de Instrumento GNSS.

## F

**Fotografía:** proceso y la técnica de capturar imágenes mediante la acción de la luz sobre una superficie sensible, generalmente una película fotográfica o un sensor digital. En términos técnicos, se basa en la exposición controlada de una escena a la luz, a través de una lente que enfoca los rayos luminosos hacia un plano de imagen (película o sensor).

**Fotogrametría:** ciencia y tecnología de obtener información confiable sobre objetos físicos y el medio ambiente a través del proceso de capturar, medir e interpretar imágenes fotográficas.

**Fotogrametría digital:** uso de técnicas informáticas y software especializado para analizar imágenes fotográficas y crear modelos tridimensionales.

## **G**

**Geodesia:** ciencia que se encarga de medir y estudiar la forma, dimensiones y campo gravitatorio de la Tierra.

**Geoide:** superficie equipotencial que coincide en el nivel del mar y se utiliza como referencia para definir altitudes y determinar la forma precisa de la Tierra.

**Global Mapper:** Software SIG de última generación que proporciona a los profesionales geoespaciales principiantes y experimentados una amplia gama de herramientas de procesamiento de datos espaciales.

**GNSS (Sistema de Navegación Global por Satélite):** sistema que permite determinar la posición geográfica y el tiempo mediante la recepción de señales de satélites de navegación, como el GPS (Sistema de posicionamiento Global).

**GPS (Sistema de Posicionamiento Global):** servicio propiedad de los EE. UU. que proporciona a los usuarios información sobre posicionamiento, navegación y cronometría.

## **H**

**Hillshade:** técnica que utiliza una fuente de luz y datos de elevación para crear una imagen de relieve sombreado de un paisaje.

## L

**Ladera:** lado inclinado que va desde el suelo hasta lo más alto de la elevación de un terreno.

**Litografía:** descripción y clasificación visual y textual de las características físicas de los suelos y rocas.

## M

**Modelo digital de superficie (DSM):** representación de todos los elementos existentes o presentes en la superficie de la tierra.

**Modelo digital de terreno (DTM):** conjunto de capas (generalmente raster) que representan distintas características de la superficie terrestre derivadas de una capa de elevaciones.

**Morfología:** ciencia de la forma y la estructura de los organismos (plantas, animales y otras formas de vida).

**Muro de contención:** estructura que se utiliza para evitar que una masa de materia, como tierra o roca, se derrumbe o se precipite.

## N

**Nube de puntos densa:** primer producto resultante del escaneo láser o la fotogrametría digital. Se compone por millones de puntos posicionados tridimensionalmente en el espacio, formando con exactitud milimétrica una entidad física y representando su superficie externa.

**Nube de puntos dispersa:** representación de cada par de valores de las variables en un sistema de coordenadas cartesianas en el que los ejes X e Y representan las variables de la distribución bidimensional.

## O

**Ortomosaico:** imagen que representa un área de manera detallada y precisa, creada a partir de la combinación de varias fotografías aéreas.

## P

**Paleoceno:** época geológica que se desarrolló hace 65 a 55 millones de años.

**PIX4DCAPTURE:** aplicación de planificación gratuita optimizada para la cartografía 3D.

**PIX4DMAPPER:** Software de fotogrametría profesional para drones.

**Plan de vuelo:** es la información de ruta y de los diferentes factores al que se expone una determinada operación aérea.

**Plano Temático:** representación de información geoespacial mediante un plano según una temática o criterio para diferentes usos en Ingeniería Civil.

**Precisión topográfica:** Grado de concordancia entre diferentes resultados de medida de un mismo mensurando.

**Punto de control fotogramétrico:** lugar en el terreno con una ubicación precisa y conocida que se utiliza para vincular un mapa a la Tierra.

**Punto de paso:** coordenadas para ubicar puntos de referencia tridimensionales utilizados en la navegación fundamentada en GPS.

## Q

**QGIS:** Sistema de Información Geográfica de software libre y de código abierto para plataformas GNU/Linux, Unix, Mac OS, Microsoft Windows y Android.

## R

**Redes Geodésicas:** conjunto de vértices geodésicos físicamente colocados en diferentes sitios de un país o zona con el fin de establecer un punto de amarre para la georeferenciación.

**Ráster:** matriz de celdas (o píxeles) organizadas en filas y columnas (o una cuadrícula) en la que cada celda contiene un valor que representa información, como la temperatura. Los ráster son fotografías aéreas digitales, imágenes de satélite, imágenes digitales o incluso mapas escaneados.

**Rolling Shutter:** método de captura de imagen realizado con un sensor CMOS, donde el obturador capta la escena a partir de un barrido.

**RTK NTRIP (Networked Transport of RTCM via Internet Protocol):** que refiere al transporte en red de datos en formato RTCM vía protocolo de Internet. O, en palabras más simples, es el nombre para la transmisión de datos de navegación satelital a través de Internet.

**Roca Metamórfica:** Rocas formadas por otras rocas que sufren transformaciones en su textura y composición mineralógica debido a la presión, temperatura y actividad química sin llegar a fundirse.

## S

**SIRGAS:** sistema geodésico utilizado en América del Sur y América Central para definir coordenadas precisas en relación con el centro de la Tierra.

**SIRGAS-ES2007:** Sistema de referencia geodésico moderno y uno de los sistemas de referencia oficiales de El Salvador.

## T

**Talud:** Inclinación del paramento de un muro o de un terreno.

**Tefra:** término que se refiere a los fragmentos de roca que se expulsan durante una erupción volcánica explosiva.

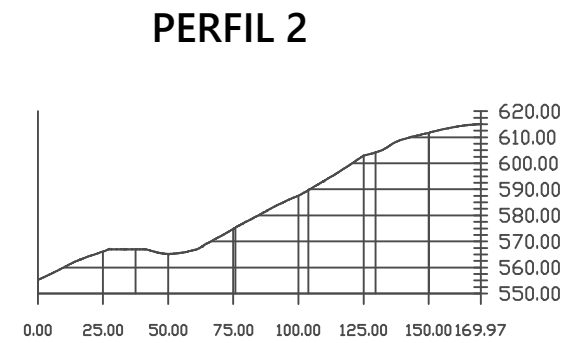
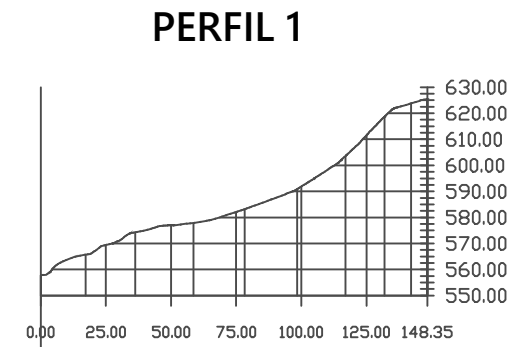
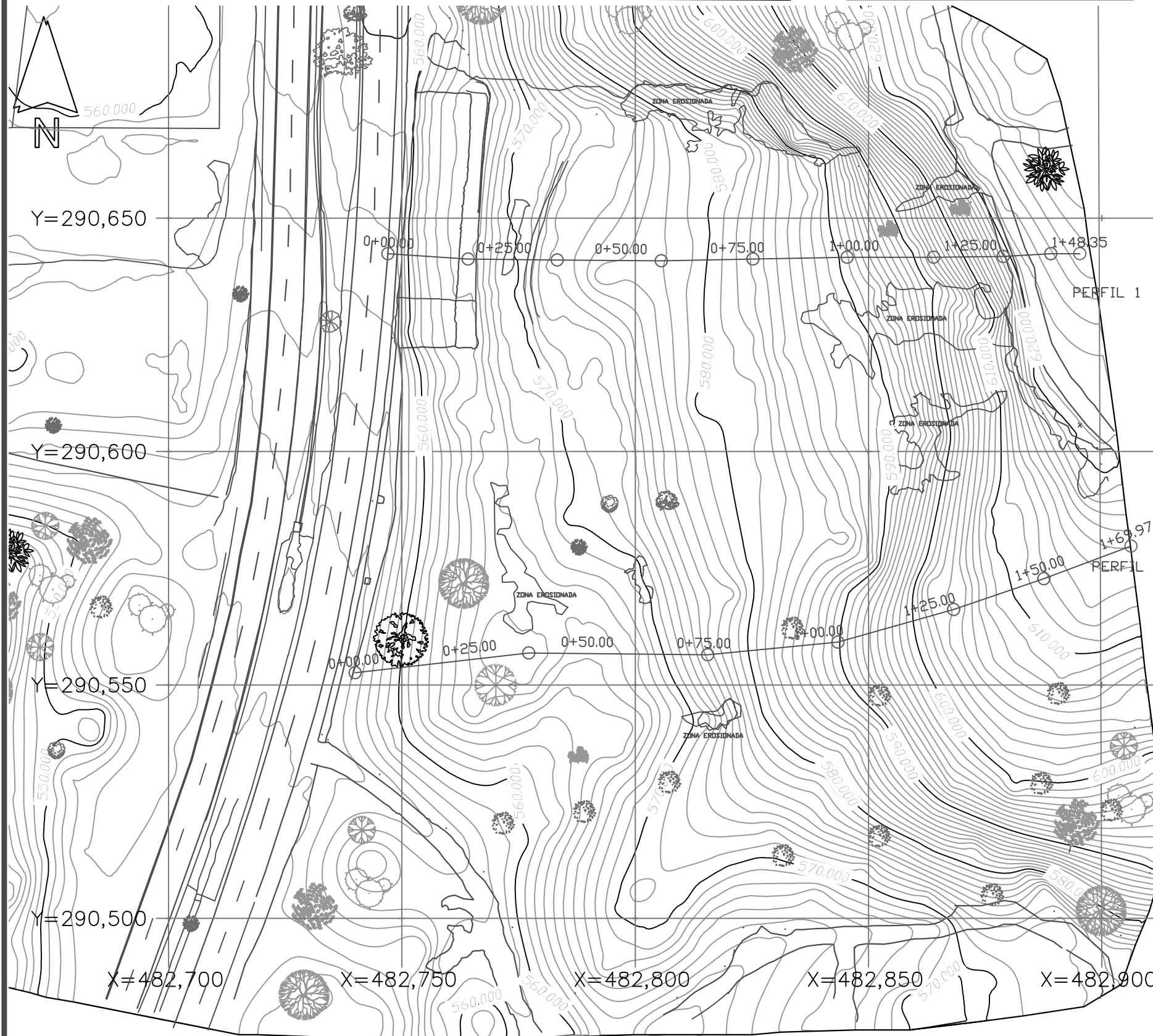
**Terciario:** período geológico que duró desde hace 70 millones hasta hace 1 millón de años. Se divide en cinco épocas: Paleoceno, Eoceno, Oligoceno, Mioceno y Plioceno.

**Topografía:** ciencia que se encarga de describir y representar gráficamente la forma y las características físicas de la superficie terrestre.

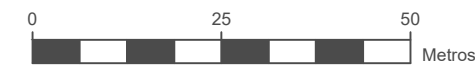
## **V**

**Vértice geodésico:** punto físico en la superficie de la Tierra que se utiliza como referencia en levantamientos topográficos y geodésicos

## 9.2 Planos.



ESCALA 1:1000



INTERVALO DE CURVAS 1 METRO

SISTEMA DE REFERENCIA GEODÉSICO:  
 PROYECCIÓN CÓNICA CONFORMAL DE  
 LAMBERT SIRGAS-ES2007.08  
 ELIPSOIDE: WGS-84/GRS80  
 DATUM GLOBAL : WGS-84

TIPO DE ELEVACIONES (Z): ORTOMÉTRICAS  
 MODELO DE GEOIDE : EGM2008



ASESOR

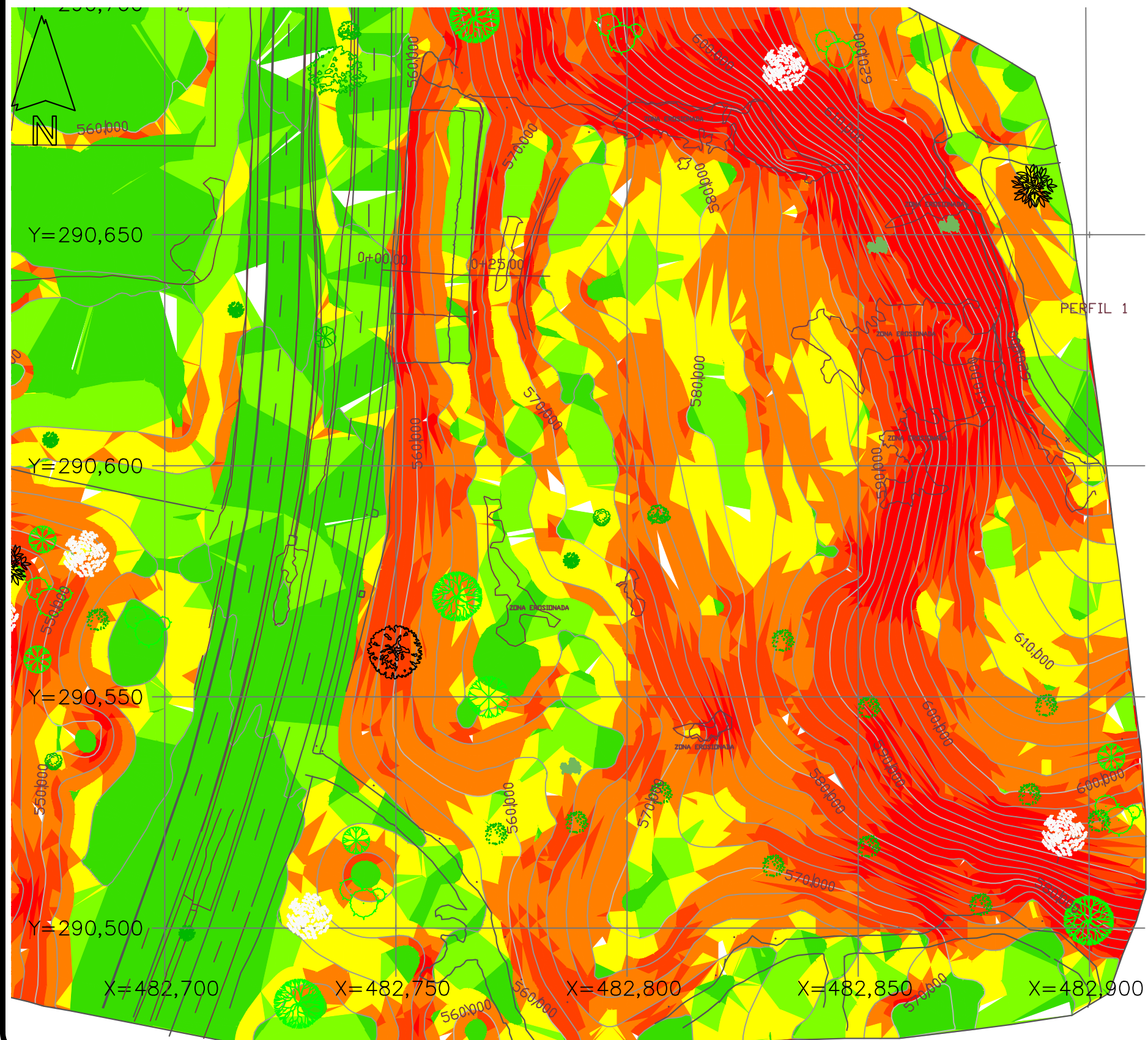
ING.WILFREDO AMAYA ZELAYA

INTEGRANTES

EDWARD DAVID MIRANDA GUZMÁN  
 CARLOS ROBERTO REYES MUÑOZ  
 ARIEL ABRAHAM SÁNCHEZ RIVERA  
 JOSÉ FERNANDO CORTÉZ GUZMÁN

FECHA / No

FEBRERO 2025  
 HOJA : 1/4



LEYENDA

PENDIENTES RELATIVAS				
N	Min	Max	A(m <sup>2</sup> )	Color
1	0.00%	7.50%	13601.16	Green
2	7.60%	17.50%	8580.02	Light Green
3	17.60%	30.00%	9390.70	Yellow
4	30.10%	50.00%	13363.21	Orange
5	50.10%	80.00%	11464.64	Red-Orange
6	80.10%	1020.74%	5862.82	Red



ASESOR

ING. WILFREDO AMAYA ZELAYA

INTEGRANTES

EDWARD DAVID MIRANDA GUZMÁN  
 CARLOS ROBERTO REYES MUÑOZ  
 ARIEL ABRAHAM SÁNCHEZ RIVERA  
 JOSÉ FERNANDO CORTÉZ GUZMÁN

FECHA / No

FEBRERO 2025  
 HOJA : 2/4

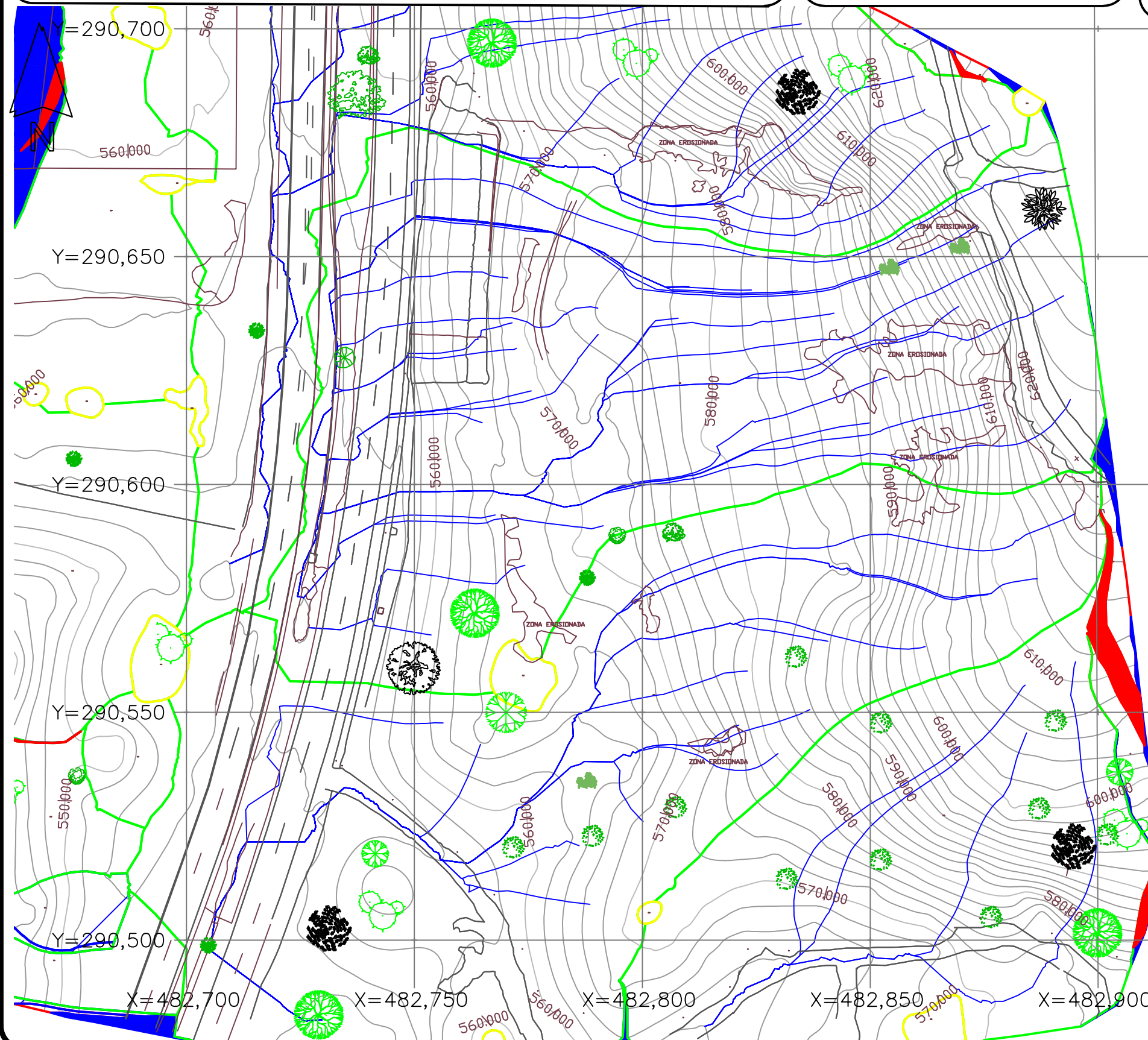
ESCALA 1:1000



INTERVALO DE CURVAS 1 METRO

SISTEMA DE REFERENCIA GEODÉSICO:  
 PROYECCIÓN CÓNICA CONFORMAL DE  
 LAMBERT SIRGAS-ES2007.08  
 ELIPSOIDE: WGS-84/GRS80  
 DATUM GLOBAL : WGS-84

TIPO DE ELEVACIONES (Z): ORTOMÉTRICAS  
 MODELO DE GEOIDE : EGM2008



LEYENDA

Tabla de cuencas de captación			
ID	Tipo	Visualizacion	Área
51	Depresión		51759.97
52	Depresión		5214386.79
53	Depresión		531129.36
54	Depresión		543448.63
55	Depresión		55475.61
56	Depresión		5614537.75
57	Depresión		5713826.84
58	Depresión		587302.78
59	Depresión		593033.81



ASESOR

ING.WILFREDO AMAYA ZELAYA

INTEGRANTES

EDWARD DAVID MIRANDA GUZMÁN  
 CARLOS ROBERTO REYES MUÑOZ  
 ARIEL ABRAHAM SÁNCHEZ RIVERA  
 JOSÉ FERNANDO CORTÉZ GUZMÁN

FECHA / No

FEBRERO 2025  
 HOJA : 3/4

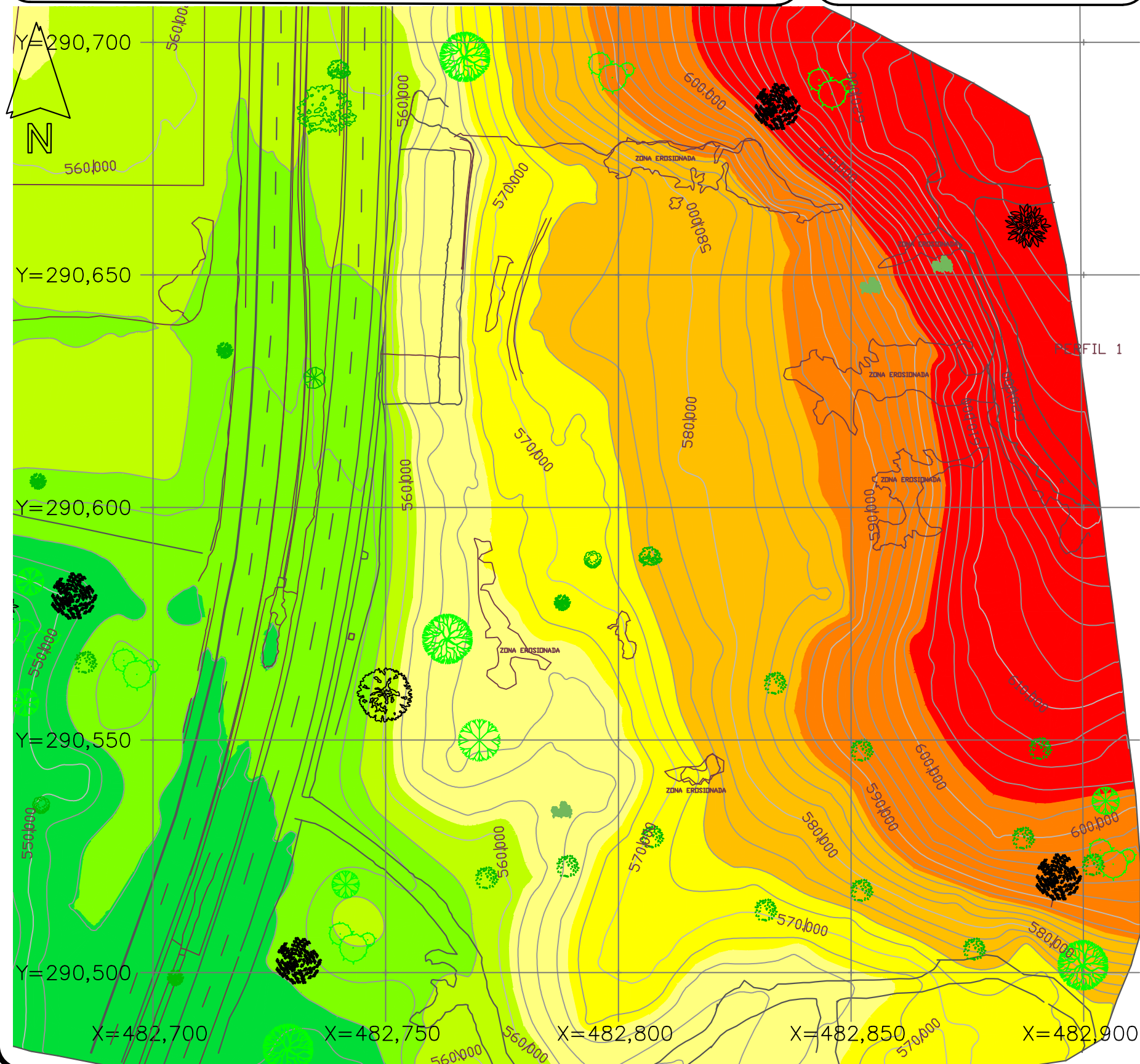
ESCALA 1:1000



INTERVALO DE CURVAS 1 METRO

SISTEMA DE REFERENCIA GEODÉSICO:  
 PROYECCIÓN CÓNICA CONFORMAL DE  
 LAMBERT SIRGAS-ES2007.08  
 ELIPSOIDE: WGS-84/GRS80  
 DATUM GLOBAL : WGS-84

TIPO DE ELEVACIONES (Z): ORTOMÉTRICAS  
 MODELO DE GEOIDE : EGM2008



LEYENDA

Tabla de elevaciones			
N	Mín	Máx	Color
1	537.000	554.003	Verde oscuro
2	554.003	558.000	Verde claro
3	558.000	561.000	Verde muy claro
4	561.000	567.000	Amarillo claro
5	567.000	574.000	Amarillo
6	574.000	587.000	Naranja claro
7	587.000	603.000	Naranja
8	603.000	629.000	Rojo



ASESOR

ING. WILFREDO AMAYA ZELAYA

INTEGRANTES

EDWARD DAVID MIRANDA GUZMÁN  
 CARLOS ROBERTO REYES MUÑOZ  
 ARIEL ABRAHAM SÁNCHEZ RIVERA  
 JOSÉ FERNANDO CORTÉZ GUZMÁN

FECHA / No

FEBRERO 2025  
 HOJA : 4/4

ESCALA 1:1000



INTERVALO DE CURVAS 1 METRO

SISTEMA DE REFERENCIA GEODÉSICO:  
 PROYECCIÓN CÓNICA CONFORMAL DE  
 LAMBERT SIRGAS-ES2007.08  
 ELIPSOIDE: WGS-84/GRS80  
 DATUM GLOBAL : WGS-84

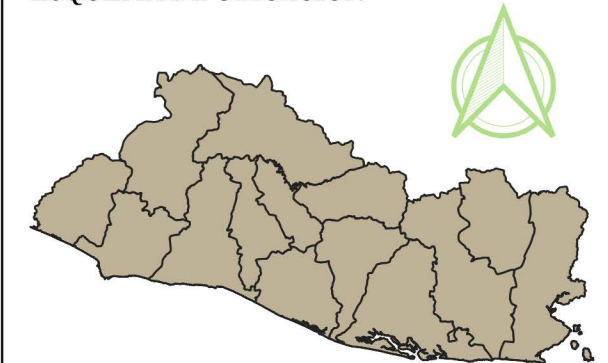
TIPO DE ELEVACIONES (Z): ORTOMÉTRICAS  
 MODELO DE GEOIDE : EGM2008

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
 FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
 CURSO DE ESPECIALIZACIÓN EN TECNOLOGÍA GPS Y SENSORES  
 REMOTOS PARA PROYECTOS DE INGENIERÍA CIVIL

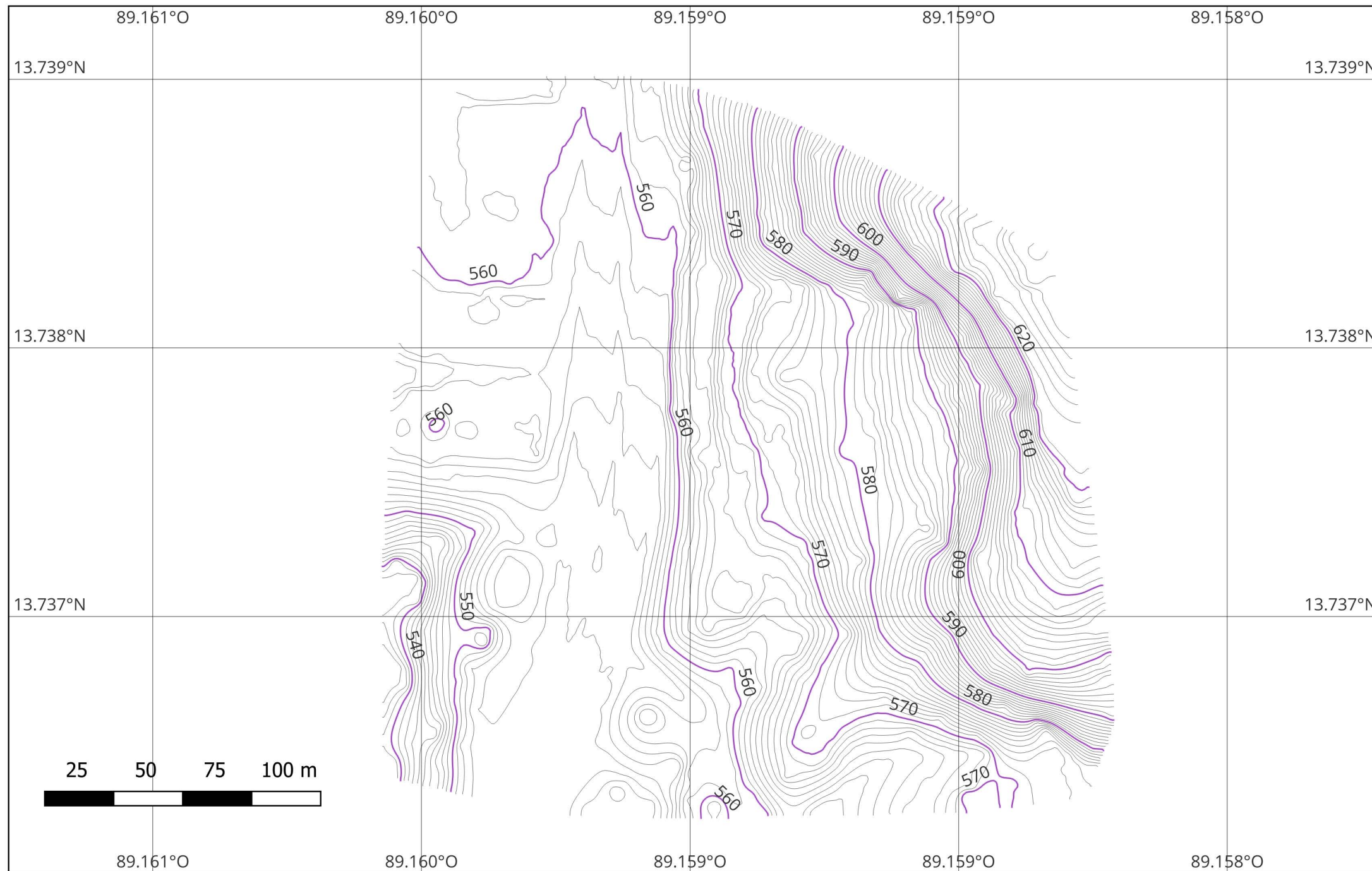
SAN SALVADOR  
 SAN SALVADOR CENTRO  
 CIUDAD DELGADO  
 CARRETERA DE ORO KM18.5  
 LUGAR Y LADERA CONOCIDA COMO "LA  
 BARRANQUILLA"

MAPA DE ELEVACIONES:  
 CURVAS DE NIVEL (INTERVALO DE  
 CURVAS 1 METRO)  
 ESCALA  
 1:1500  
 TIPO DE ELEVACIONES (Z):  
 ORTOMÉTRICAS MODELO DE GEOIDE  
 EGM2008

ESQUEMA DE UBICACIÓN



PROYECCIÓN CÓNICA CONFORMAL LAMBERT  
 SIRGAS-ES2007.08

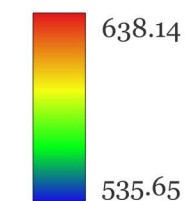


ASESOR:  
 ING. WILFREDO AMAYA ZELAYA

INTEGRANTES:  
 CARLOS ROBERTO REYES MUÑOZ  
 EDWARD DAVID MIRANDA GUZMÁN  
 ARIEL ABRAHAM SÁNCHEZ RIVERA  
 JOSÉ FERNANDO CORTÉZ GUZMÁN

LEYENDA

ALTIMETRÍA DE LADERA  
 "LA BARRANQUILLA"

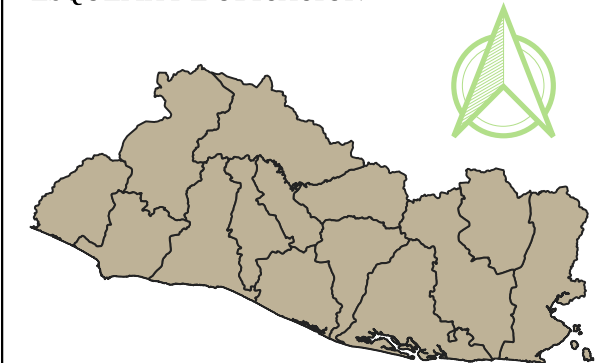


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
CURSO DE ESPECIALIZACIÓN EN TECNOLOGÍA GPS Y SENSORES  
REMOTOS PARA PROYECTOS DE INGENIERÍA CIVIL

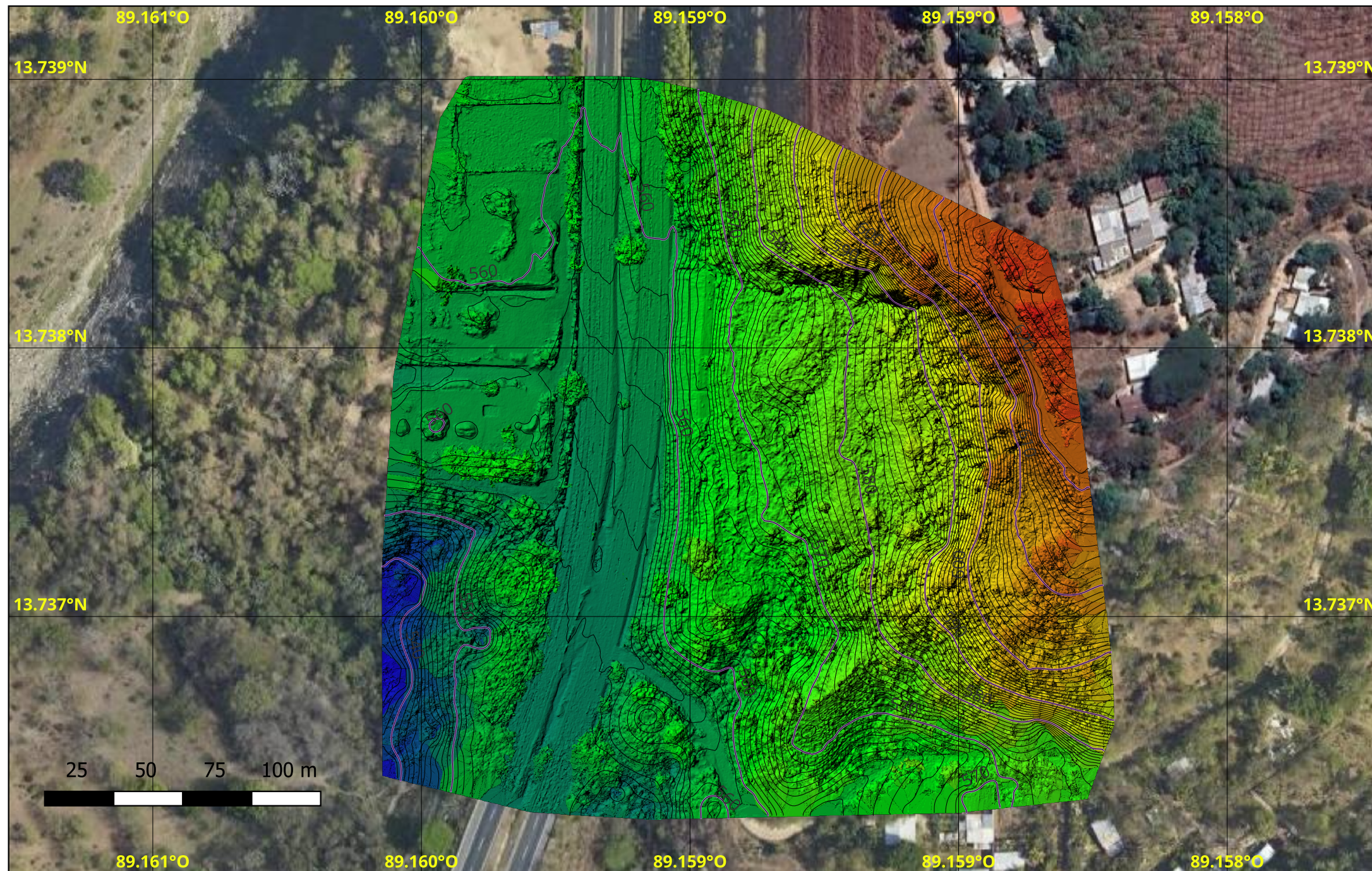
SAN SALVADOR  
SAN SALVADOR CENTRO  
CIUDAD DELGADO  
CARRETERA DE ORO KM18.5  
LUGAR Y LADERA CONOCIDA COMO "LA  
BARRANQUILLA"

MAPA DE ELEVACIONES:  
DSM (INTERVALO DE CURVAS 1 METRO)  
ESCALA  
1:1500  
TIPO DE ELEVACIONES (Z):  
ORTOMÉTRICAS MODELO DE GEOIDE :  
EGM2008

ESQUEMA DE UBICACIÓN



PROYECCIÓN CÓNICA CONFORMAL LAMBERT  
SIRGAS-ES2007.08



ASESOR:  
ING. WILFREDO AMAYA ZELAYA

INTEGRANTES:  
CARLOS ROBERTO REYES MUÑOZ  
EDWARD DAVID MIRANDA GUZMÁN  
ARIEL ABRAHAM SÁNCHEZ RIVERA  
JOSÉ FERNANDO CORTÉZ GUZMÁN

LEYENDA

ALTIMETRÍA DE LADERA  
"LA BARRANQUILLA"

