



**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA**

*Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo*

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA INDUSTRIA Y  
CONSTRUCCIÓN.**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL.**

**PROCEDIMIENTO PARA LEVANTAMIENTO FOTOGRAMÉTRICO  
USANDO RPA'S COMO HERRAMIENTA EN EL CAMPO DE LA  
TOPOGRAFÍA Y DIFUSIÓN CON REALIDAD VIRTUAL.**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL.**

**AUTOR: OSKAR MIGUEL CALLE REINOSO.**

**DIRECTOR: ING. VICENTE EMMANUEL ORTEGA CÁRDENAS MSc.**

**AZOGUES - ECUADOR**

**2021**

*Yo me gradué en los  
50 años de La Cato!*



**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA**  
*Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo*  
**UNIDAD ACADÉMICA INGENIERÍA, INDUSTRIA Y  
CONSTRUCCIÓN.**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL.**

**PROCEDIMIENTO PARA LEVANTAMIENTO FOTOGRAMÉTRICO  
USANDO RPA'S COMO HERRAMIENTA EN EL CAMPO DE LA  
TOPOGRAFÍA Y DIFUSIÓN CON REALIDAD VIRTUAL.**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL.**

**AUTOR: OSKAR MIGUEL CALLE REINOSO.**

**DIRECTOR: ING. VICENTE EMMANUEL ORTEGA CÁRDENAS Msc.**

**AZOGUES - ECUADOR**

**2021**

*Yo me gradúe en los  
50 años de La Cato!*

### **Declaratoria de Autoría y Responsabilidad**

**Oskar Miguel Calle Reinoso** portador de la cédula de ciudadanía N° **0302697628**. Declaro ser el autor de la obra: **“Procedimiento para levantamiento fotogramétrico usando RPA’s como herramienta en el campo de la topografía y difusión con realidad virtual.”**, sobre la cual me hago responsable sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaro que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximo a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaro finalmente que mi obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también me responsabilizo y eximo a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Azogues, **29 de agosto de 2021**



F: .....

**Oskar Miguel Calle Reinoso**

**C.I. 0302697628**

---

## UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN

Azogues, 26 de agosto de 2021.

ASUNTO: Informe calificación trabajo de titulación.

Ingeniero.

Ricardo Romero G. Mgs.

**DIRECTOR DE CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL – SEDE AZOGUES. UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN.**

De mi consideración.

Adjunto al presente, sírvase encontrar la rúbrica de evaluación del proceso de trabajo de titulación del estudiante CALLE REINOSO OSKAR MIGUEL, que fue desarrollado bajo mi tutoría y que se denomina: “PROCEDIMIENTO PARA LEVANTAMIENTO FOTOGRAMÉTRICO USANDO RPA’S COMO HERRAMIENTA EN EL CAMPO DE LA TOPOGRAFÍA Y DIFUSIÓN CON REALIDAD VIRTUAL”. Me permito informar además que, el trabajo ha sido completado en su totalidad bajo mi supervisión y considero que es apto para continuar con los trámites correspondientes para su titulación. La nota final del trabajo escrito obtenida es de 50/50.

Sin otro particular. Atentamente,



-----  
Ing. Vicente Ortega Cárdenas MSc.

DOCENTE FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL.

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA – SEDE AZOGUES

## **Agradecimiento**

*Agradezco en primera instancia a Dios, que me dio las fuerzas y su bendición para salir adelante en mi trabajo de titulación, a mis padres por siempre darme su apoyo incondicional ayudándome en todo lo que podían y ser los que me motivaban a seguir adelante, a mi hermana por siempre darme consejos, a mi pareja que desde el primer día con sus palabras de apoyo me motivo a salir adelante.*

*Quiero expresar también mi más sentido agradecimiento a mi docente tutor, Ing. Vicente Emmanuel Ortega Cárdenas, por compartir conmigo sus conocimientos, motivándome a salir adelante, por su paciencia, guía y apoyo incondicional desde el primer día.*

*Sin el apoyo de cada uno de ustedes no habría sido posible culminar este proyecto.*

## **Dedicatoria**

*A mis padres quienes fueron los que me apoyaron totalmente desde que inicie mi carrera, con sus consejos me ayudaron a ser una gran persona que sueña llegar alto y cumplir todas mis metas que me proponga.*

## **Resumen.**

La fotogrametría mediante RPA'S "Remotly Pilot Aircarf System", se ha convertido en una herramienta de trabajo ya que exhibe grandes beneficios para el diseño y construcción en el ámbito de la ingeniería civil, por ello en el siguiente trabajo de titulación se analizó el uso y funcionamiento de equipos de vuelo no tripulados pero controlados remotamente denominados "drone", a través de la creación de una guía eficiente y práctica partiendo de imágenes verticales u oblicuas para la captura de información, proceso, y post-proceso de la misma.

Este proceso se llevó a cabo mediante una técnica denominada fotogrametría digital inteligente, usando un equipo de vuelo tipo cuadricóptero, el cual fue tomando fotografías aéreas mediante la creación de un plan de vuelo, levantando información útil del proyecto "diseño del sistema de alcantarillado sanitario de la comunidad Flor del Bosque"; toda la información recolectada fue procesada mediante el software fotogramétrico "Pix4Dmapper", obteniendo productos topográficos, curvas de nivel, nubes de puntos, ortomosaicos, MDE, MDS y modelamientos 3D, rápidos, precisos, seguros y a menor costo.

El objetivo principal fue realizar un procedimiento paso a paso, útil para entender los problemas que puede presentar la fotogrametría digital y como evitarlos; además de reconocer cuáles son los requisitos y herramientas necesarias para convertir la información tomada a través de fotografías áreas en herramientas de medición e interpretación mediante softwares cartográficos, los mismos que fueron plasmados en planos y publicados mediante tecnología de realidad aumentada, obteniendo y presentando un levantamiento de información en dos y tres dimensiones.

*Palabras clave:* Drone, fotogrametría, ortomosaico, realidad aumentada.

---

## CENTRO DE IDIOMAS

### Abstract

Photogrammetry through RPA'S "Remotely Pilot Aircraft System", has become a working tool since it exhibits great benefits for design and construction in the field of civil engineering. Therefore, in this thesis, the use and operation of unmanned but remotely controlled flight equipment called "drone" was analyzed, through the creation of an efficient and practical guide starting from vertical or oblique images for the capture of information, process, and post-processing of the same. This process was conducted employing a technique called intelligent digital photogrammetry, utilizing quadcopter type flight equipment, which was taking aerial photographs by creating a flight plan, gathering useful information of the project "design of the sanitary sewerage system of the Flor del Bosque community". All the collected information was processed by using the photogrammetric software "Pix4Dmapper", obtaining topographic products, contour lines, point clouds, orthomosaics, DEM, DSM, and 3D modeling, fast, accurate, safe, and at a lower cost. The main objective was to perform a step-by-step procedure, useful to understand the problems that digital photogrammetry can present and how to avoid them; in addition to recognizing what are the requirements and tools needed to convert the information taken through aerial photographs into measurement and interpretation tools through cartographic software, which was captured in plans and published using augmented reality technology, obtaining and presenting a survey of information in two and three dimensions.

*Keywords:* Drone, photogrammetry, orthomosaic, augmented reality.

## **TABLA DE CONTENIDO**

<b>1. CAPÍTULO I GENERALIDADES.....</b>	<b>1</b>
1.1. Introducción.....	1
1.2. Formulación del problema. ....	2
1.2.1. Delimitación del problema.....	2
1.3. Definición de la zona de estudio. ....	3
1.4. Justificación. ....	5
1.5. Objetivos.....	6
1.5.1. Objetivo General.....	6
1.5.2. Objetivos Específicos. ....	6
<b>2. CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO Y MARCO CONCEPTUAL. ....</b>	<b>7</b>
2.1. Drone.....	7
2.2. Tipos de RPA's para fotogrametría.....	8
2.2.1. Drones de ala Fija. ....	8
2.2.2. Drones multirrotores.....	8
2.2.3. Drones Híbridos.....	9
2.3. Partes Básicas de un dron.....	10
2.4. Mecánica de funcionamiento de un RPA'S tipo cuadricóptero. ....	11
2.4.1. Uso y aplicaciones de los RPA's dentro de la ingeniería. ....	12
2.4.2. Normativa Ecuatoriana para el uso de los RPAs. ....	13
2.5. Fotogrametría.....	14
2.6. Fundamentos de la fotogrametría. ....	14
2.7. Ventajas y limitaciones de la fotogrametría. ....	16
2.7.1. Ventajas de la fotogrametría. ....	16
2.7.2. Desventajas de la fotogrametría. ....	16
2.8. Clasificación de la fotogrametría ....	17
2.8.1. Fotogrametría terrestre.....	17

2.8.2.	Fotogrametría aérea .....	17
2.9.	Conceptos generales de elementos de una cámara aérea.....	18
2.9.1.	Abertura útil.....	18
2.9.2.	Abertura útil relativa.....	18
2.9.3.	Profundidad del foco.....	18
2.9.4.	Profundidad de campo.....	18
2.9.5.	Ángulo de campo.....	18
2.9.6.	Luminosidad.....	18
2.9.7.	Eje óptico.....	18
2.9.8.	Distancia Focal (f).....	19
2.10.	Clasificación de la Fotogrametría Aérea.....	19
2.10.1.	Tipos de vuelos aéreos .....	20
2.11.	Precisión de un levantamiento.....	21
2.11.1.	Percepción Remota.....	22
2.11.2.	Propiedades de la Fotografía.....	22
2.11.3.	Nitidez de la fotografía.....	22
2.12.	Aspectos geométricos de una fotografía aérea vertical.....	23
2.12.1.	Escala de la fotografía.....	23
2.13.	Resolución de píxel GSD y altura de vuelo.....	24
2.1.	Pixel.....	25
2.2.	Visión estereoscópica.....	26
2.3.	Problemas de la fotogrametría en la obtención de modelos 3D.....	26
2.3.1.	Origen de la fotogrametría 3D.....	26
2.3.2.	Obtención de modelos 3D a partir de fotografías 2D.....	27
2.4.	Cámaras.....	27
2.5.	Imagen Digital.....	28
2.6.	Imagen Vectorial.....	28

2.7.	Imagen raster. ....	28
2.8.	Imágenes RAW.....	29
2.9.	Imágenes JPG. ....	29
2.1.	Sistemas de referencia de coordenadas geográficas. ....	29
2.1.1.	Latitud y Longitud. ....	29
2.2.	Elipsoide y Geoide.....	30
2.2.1.	Geoide. ....	30
2.2.2.	Elipsoide. ....	30
2.3.	Softwares de Fotogrametría. ....	31
2.3.1.	Pix4D Mapper.....	31
2.3.2.	Global Mapper.....	32
2.3.3.	MicroStation y su complemento Terrasolid. ....	32
2.4.	Softwares de edición de productos fotogramétricos. ....	32
2.4.1.	Civil3D.....	33
2.4.2.	ArcGIS y Qgis. ....	33
2.5.	Modelamiento 3D y visión computacional.....	33
2.5.1.	Visión artificial o computacional. ....	33
2.5.2.	¿Qué es visión?.....	33
<b>3.</b>	<b>CAPÍTULO III METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN PARA LA TOMA DE INFORMACIÓN EN EL CAMPO. ....</b>	<b>34</b>
3.1.	Técnicas e Instrumentos necesarios para la recolección de datos.....	34
3.2.	Método de investigación en el campo. ....	34
3.2.1.	Técnicas realizadas con el Phantom 4 Pro. ....	34
3.2.2.	Requisitos necesarios para poder volar un dron. ....	35
3.2.3.	Encendido y apagado de la batería del dron. ....	36
3.2.4.	Configuración del control remoto del dron. ....	37
3.2.5.	Procedimiento para calibración de brújula. ....	38

3.3.	Consideraciones necesarias antes de volar el drone. ....	41
3.3.1.	Clima. ....	41
3.3.2.	Puntos de Control. ....	42
3.4.	Ubicación, y colocación de los puntos de control. ....	43
3.5.	Sistema Global de navegación por satélite GNSS (Global Navigation Satellite System). ..	45
3.5.1.	Medición estática. ....	45
3.5.2.	Medición RTK (Real Time Kinematic). ....	46
3.6.	Tipos de Señales GNSS. ....	47
3.7.	Código PRN (Pseudo Random Noise). ....	48
3.8.	Modulación. ....	49
3.9.	Datos de navegación. ....	49
3.10.	Colocación de un sistema GNSS en modo RTK (Base-Móvil). ....	49
3.11.	Como encender un receptor GNSS marca Trimble modelo R6. ....	50
3.11.1.	Botones presentes en el receptor ....	50
3.12.	Configuración del modo RTK (Base-Móvil). ....	51
3.13.	Fuentes de error en dispositivos GNSS. ....	54
3.14.	Consideraciones para el plan de vuelo. ....	55
3.15.	Procedimiento para realizar una planificación de vuelo. ....	56
3.16.	Chequeo de parámetros en campo antes de realizar el plan de vuelo. ....	62
3.17.	Chequeo de parámetros en campo del dron antes del vuelo. ....	62
3.18.	Chequeo de parámetros en campo del dron durante el vuelo. ....	63
3.19.	Chequeos de parámetros en campo después de realizar el vuelo del dron. ....	64
3.20.	Precisión absoluta y relativa. ....	65
3.20.1.	Precisión relativa. ....	65
3.20.2.	Precisión absoluta. ....	65
<b>4.</b>	<b>CAPÍTULO IV METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN PARA PROCESO Y POST- PROCESO EN GABINETE. ....</b>	<b>66</b>

4.1.	Post-Proceso de Imágenes mediante el software Pix4Dmapper. ....	66
4.2.	Verificación de las imágenes tomadas y sistema de coordenadas usadas mediante la aplicación pix4Dmapper.....	66
4.3.	Procesamiento Inicial.....	74
4.3.1.	Ajuste con puntos de Enlace. ....	77
4.3.2.	Productos a obtener del procesamiento inicial. ....	78
4.3.3.	Análisis del Reporte de calidad.....	79
4.3.4.	Importación de los puntos de control tomados al software pix4Dmapper. ....	91
4.4.	Análisis del paso dos denominado nube de puntos y malla.....	97
4.5.	Productos a obtener del procesamiento dos “nubes de puntos y malla”. ....	100
4.5.1.	Nube de puntos densa. ....	100
4.5.2.	Malla 3D con textura. ....	102
4.6.	Paso tres MDS, Ortomosaico e Índices.....	103
4.7.	Productos a obtener del procesamiento 3 ....	106
4.7.1.	Ortomosaico. ....	106
4.7.2.	Modelo digital de elevación.....	107
4.7.3.	Modelo Digital del Terreno. ....	108
4.8.	Exportación a programas de modelamiento 3D y tecnología de visión Artificial.....	109
4.9.	Programa MicroStation.....	109
4.9.1.	Exportación de la nube de puntos al programa MicroStation.....	110
4.10.	Productos a obtener de este procesamiento. ....	120
4.10.1.	Curvas de nivel.....	120
4.11.	Creaciones de modelos 3D en realidad aumentada mediante Unity Hub. ....	121
<b>5.</b>	<b>CAPÍTULO V RESULTADOS FINALES. ....</b>	<b>130</b>
5.1.	Presentación de planos y Dibujos.....	130
5.2.	Creación de planos en QGIS.....	130
5.2.1.	Visualización de la ortofoto en qgis.....	130

5.2.2. Visualización de DSM Y DTM en Qgis. ....	131
5.3. Comparación de las curvas de nivel creadas en Pix4D y MicroStation. ....	135
5.4. Análisis del resultado de tiempos empleados. ....	137
5.4.1. Análisis de tiempos en campo. ....	137
5.4.2. Análisis de tiempos en oficina. ....	137
5.5. Resultados de precisiones determinadas. ....	138
5.6. Conclusiones:.....	140
5.7. Recomendaciones. ....	142
<b>6. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>143</b>

### **Índice de Tablas.**

Tabla I. Coordenada UTM WGS 84 17S de la Comunidad Flor del Bosque.....	4
Tabla II Diferentes tipos de drones y marcas dominantes encargadas de realizar fotogrametría. ....	9
Tabla III Número de puntos de control a usar según recomendaciones. ....	45
Tabla IV Diferencias entre los tipos de señales satelitales. ....	48
Tabla V Análisis de tiempos empleados en campo. ....	137
Tabla VI Análisis de tiempos en oficina realizados. ....	137
Tabla VII Especificaciones técnicas para ortofotos digitales. ....	138

### **Índice de Ilustraciones.**

Ilustración 1 . Zona de estudio aproximada, ubicada en el Cantón Biblián, Parroquia Flor del Bosque. ....	4
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------	---

### **Índice de figuras.**

Figura 1. Resoluciones que pueden presentar los RPA'S. ....	7
Figura 2. Tipos de RPAs.....	8
Figura 3. Fabricantes líderes de drones comerciales. ....	10

Figura 4. Tipos de movimientos generados por las hélices de un cuadricóptero]	11
Figura 5. Diferentes tipos de movimientos de motores de un cuadricóptero].	12
Figura 6. Los rayos de luz atraviesan la proyección central inciden en el otro lado sobre un plano de proyección.....	15
Figura 7. Ángulos de las fotografías según el tamaño del lente.....	19
Figura 8. Diferentes ejes de cámaras presentes en las fotografías].	19
Figura 9. Geometría básica de la fotografía aérea vertical.....	20
Figura 10. Clasificación de los tipos de vuelos, donde la relación O-N es la altura de vuelo. .....	21
Figura 11. Aspectos geométricos de una fotografía vertical.....	23
Figura 12 Vista de la cámara de un dron a diferentes altitudes.....	24
Figura 13 Representación de un píxel sobre el terreno.....	25
Figura 14 Fotografías tomadas desde diferentes lugares mostrando puntos homólogos entre ellas.....	26
Figura 15. Sistema de coordenadas geográficas.....	30
Figura 16 Vista Bidimensional del Elipsoide y del Geoide.....	31
Figura 17 Precios de las licencias comercializadas por el software pix4Dmapper.....	32
Figura 18 Modo de colocación de las hélices en un dron.....	35
Figura 19 Batería de un dron.....	36
Figura 20 Indicadores del nivel de batería de un dron.....	36
Figura 21 Conexión del control del dron a la tableta o celular.....	37
Figura 22 Ajuste recomendado de antenas de transmisión de señal entre el control y el dron. .....	38
Figura 23 Procedimiento de calibración de brújula del dron.....	39
Figura 24. Interfase de la aplicación DJO GO4.....	39
Figura 25 Interfase de la aplicación DJI GO4.....	40
Figura 26 Procedimiento para encender los motores de un dron.....	40
Figura 27 Diferentes modos de controlar el dron a través del control.....	41
Figura 28 Aplicación para pronóstico de clima de drones.....	42
Figura 29 Diferentes tipos de marcas a usar como GCP.....	43
Figura 30 Distribución de los GCP en el terreno.....	44

Figura 31 Método GNSS de posicionamiento estático.....	46
Figura 32 Método de posicionamiento GNSS modo RTK.....	47
Figura 33 Secuencia de un código PRN .....	49
Figura 34 Tipo de señales de modulación. ....	49
Figura 35 Encendida de un aparato GNSS .....	51
Figura 36 Equipo GNSS, marca Trimble modelo R6.....	52
Figura 37 GCP colocados sobre el terreno .....	52
Figura 38 Ubicación sobre los puntos de control con el equipo móvil para la toma de datos .....	53
Figura 39 Indicaciones para medir la altura del equipo.....	53
Figura 40 Toma de puntos mediante la colectora Trimble TCS3.....	54
Figura 41 Diferentes planificaciones de vuelo para terrenos con variaciones de relieves ...	56
Figura 42 Polígono de vuelo creado mediante Google Earth.....	57
Figura 43 Polígonos de vuelo creados mediante Google Earth.....	57
Figura 44 Ubicación de los puntos de control .....	58
Figura 45 Registro de la aplicación Pix4Dmapper .....	58
Figura 46 Pasos para crear un nuevo proyecto en la aplicación Pix4Dmapper.....	59
Figura 47 Opciones de planes de vuelo que ofrece Pix4Dcapture .....	59
Figura 48 Polígono de vuelo creado en base al archivo kml importado.....	60
Figura 49 Calculadora de GSD creada por Pix4D.....	60
Figura 50 Consideraciones a revisar al momento de realizar el plan de vuelo .....	61
Figura 51 Polígono de vuelo creado mediante la aplicación pix2dcapture .....	63
Figura 52 Plan de vuelo realizado mediante pix4Dcapture .....	64
Figura 53 Interfase de la aplicación Pix4dmapper .....	67
Figura 54 Opciones para la creación de un nuevo proyecto.....	67
Figura 55 Proceso para seleccionar imágenes en el programa Pix4Dmapper.....	68
Figura 56 Proceso para seleccionar imágenes en el programa Pix4Dmapper .....	68
Figura 57 Indicación de la rotación de ángulos Omega, Phi y Kappa con respecto a una fotografía. ....	69
Figura 58 Diferentes propiedades de las imágenes mostradas con la aplicación Pix4Dmapper .....	70

Figura 59 Ventada de edición de modelo de cámara presente en la aplicación pix4Dmapper. .....	71
Figura 60 Tipo de sistemas de coordenadas de salida que da el programa pix4Dmapper ..	72
Figura 61 Tipo de plantillas de procesamiento que ofrece el programa pix4Dmapper.....	73
Figura 62 Vista de mapa creado a través de la aplicación pix4Dmapper.....	73
Figura 63 Ubicación de la opción procesamiento en el software .....	74
Figura 64 Opciones de calibración dadas por el programa pix4dmapper .....	75
Figura 65 Opciones de emparejamiento dadas por pix4Dmapper.....	76
Figura 66 Opciones de calibración dadas por el software pix4dmapper .....	77
Figura 67 Productos del procesamiento Inicial en el software Pix4Dmapper.....	78
Figura 68 Errores que se presentan en imágenes.....	79
Figura 69 Parte del reporte de calidad mostrado por el programa pix4dmapper .....	80
Figura 70 Información que brinda el software Pix4dmapper referente a las diferentes opciones que puede brindar el reporte de calidad.....	81
Figura 71 Información que brinda el software Pix4dmapper referente a las diferentes opciones que puede brindar el reporte de calidad.....	81
Figura 72 Información que brinda el software Pix4dmapper referente a las cantidades de puntos en común que deberán tener por imagen calibrada.....	82
Figura 73 Vista previa del Ortomosaico y DSM a generar mediante el programa pix4dmapper .....	83
Figura 74 Posiciones de cada una de las fotografías tomadas.....	83
Figura 75 Diferentes posiciones de las fotografías vistas desde diferentes perspectivas .....	84
Figura 76 Nivel de solapamiento presente en nuestro modelo .....	85
Figura 77 Error de proyección presente en una imagen .....	86
Figura 78 Valores que indican la tabla BBA, en el reporte de calidad de pix4Dmapper .....	86
Figura 79 Resultados presentados de los parámetros internos de la cámara realizada a través del software Pix4Dmapper .....	87
Figura 80 Matriz de correlación dada por el informe de calidad del programa Pix4Dmapper .....	87
Figura 81 Puntos de paso creados en el programa de manera automática .....	88
Figura 82 Número de puntos 2D y 3D creados mediante el emparejamiento de imágenes	89

Figura 83 Agrupaciones de puntos en común observado en diferentes vistas .....	89
Figura 84 Valores de geolocalización de varianza calculados por el software pix4dmapper .....	90
Figura 85 Valores de la geolocalización relativa y valores de errores RMS .....	91
Figura 86 Paso para ingresar los puntos de control .....	91
Figura 87 Pasos para ingresar los puntos de control .....	92
Figura 88 GCP ya ingresados .....	93
Figura 89 Ubicación de las marcas dejadas sobre el terreno .....	94
Figura 90 Ubicación de las marcas en función a los GCP.....	94
Figura 91 Re-optimización del modelo creado.....	95
Figura 92 Modelo ubicado en función a los puntos de control. ....	95
Figura 93 Posición inicial y optimizada de los puntos de control.....	96
Figura 94 Valor de georreferenciación calculado por el software.....	96
Figura 95 Opciones dadas por el software Pix4dmapper para la creación de nube de puntos. ....	98
Figura 96 Opciones presentadas para la generación de mallas 3D y textura .....	99
Figura 97 Opciones avanzadas para la generación de nube de puntos y malla .....	100
Figura 98 Visualización de la nube de puntos creada .....	101
Figura 99 Proceso de clasificación de la nube de puntos .....	102
Figura 100 Nube de puntos clasificada.....	102
Figura 101 Modelo 3D creado mediante el programa pix4dmapper .....	103
Figura 102 Opciones dadas en el paso número 3 MSD, Ortomosaico e Índices.....	104
Figura 103 Opciones dadas en el paso número 3 MSD, Ortomosaico e Índices.....	105
Figura 104 Opciones de Recursos y Notificaciones.....	106
Figura 105 Ortofoto generada por el software Pix4Damapper.....	107
Figura 106 Modelo digital de elevación generado por el software Pix4Dmapper. ....	108
Figura 107 Modelo digital de elevación generado por el software Pix4Dmapper .....	108
Figura 108 Valores de licencias del software MicroStation. ....	109
Figura 109 Método para creación de un proyecto en MicroStation .....	110
Figura 110 Interfase del MicroStation, con los componentes de Terrasolid cargados.....	110

Figura 111 Opciones de activación del componente Terrasolid en el software MicroStation .....	111
Figura 112 Creación de una vista en 3D en MicroStation.....	111
Figura 113 Proceso para la importación de nube de puntos. ....	112
Figura 114 Opciones dadas por el software para la importación de la nube de puntos.....	112
Figura 115 Tipo de vistas del mapa que ofrece el MicroStation .....	113
Figura 116 Procedimiento para la clasificación de la nube de puntos.....	113
Figura 117 Opciones que debemos configurar antes de clasificar nuestra nube de puntos .....	115
Figura 118 Visualización en diferentes ventanas de la clasificación del terreno .....	115
Figura 119 Visualización en diferentes ventanas de la clasificación del terreno .....	116
Figura 120 Proceso para densificar nuestra nube de puntos clasificada .....	116
Figura 121 Proceso para la creación de una superficie en el software MicroStation.....	117
Figura 122 Superficie creada de nuestra nube de puntos clasificada .....	118
Figura 123 Proceso de corrección de errores de nuestra triangulación .....	118
Figura 124 Procedimiento para generar curvas de nivel en el software MicroStation.....	119
Figura 125 Curvas de nivel generadas en nuestro modelo 3D. ....	119
Figura 126 Curvas de nivel generadas en nuestro modelo 3D .....	120
Figura 127 Curvas de nivel Creadas.....	120
Figura 128 Creación de la plantilla de trabajo de Unity Hub.....	121
Figura 129 Opciones a seleccionar para crear un nuevo proyecto. ....	122
Figura 130 Interfase del programa Unity Hub.....	122
Figura 131 Diferentes opciones dentro del software Unity Hub.....	123
Figura 132 Diferentes opciones dentro del software Unity Hub .....	124
Figura 133 Diferentes opciones dentro del software Unity Hub .....	124
Figura 134 Creación de una licencia en la cuenta de Vuforia .....	125
Figura 135 Creación de una licencia en la cuenta de Vuforia .....	125
Figura 136 Opción que activa la licencia dentro del software Unity Hub .....	126
Figura 137 Agregar objetos a la cuenta de Vuforia.....	126
Figura 138 Opciones para agregar objetos en la cuenta de Vuforia.....	127
Figura 139 Opciones de creación de realidad aumentada de Unity Hub.....	128

Figura 140 Modelo 3D cargado para editarse en Unity Hub.....	128
Figura 141 Terreno mostrado en la aplicación creada.....	129
Figura 142 Ortofoto cargada en el software QGIS.....	130
Figura 143 Creación de un plano a través del Software Qgis .....	131
Figura 144 Creación de un mapa de sombras del DSM, para una mejor visualización del mismo .....	132
Figura 145 DSM clasificado por medio del software Qgis. ....	132
Figura 146 DSM clasificado por medio del software Qgis .....	133
Figura 147 Creación de un plano a través del Software Qgis. ....	133
Figura 148 Creación de un plano a través del Software Qgis. ....	134
Figura 149 Plano 3D generado a través del software ArcGIS.....	134
Figura 150 Curvas de nivel generadas por los softwares Pix4Dmapper y MicroStation ...	135
Figura 151 Curvas de nivel generados con los diferentes softwares.....	136
Figura 152 Plano generando mediante el software Qgis.....	136
Figura 153 Precisiones obtenidas de los puntos de control terrestres .....	139
Figura 154 Comprobación de precisión mediante puntos de apoyo dejados en el terreno ...	139

## **1. CAPÍTULO I GENERALIDADES.**

### **1.1. Introducción.**

En las últimas décadas, la tecnología ha avanzado rápidamente en todos los ámbitos de la sociedad, parte de esta evolución se da en el ámbito ingenieril, es por ello que surgen nuevas metodologías y mecanismos destinadas a satisfacer las necesidades del ingeniero al momento de tomar decisiones.

La tecnología de equipos no tripulados pero controlados remotamente, se caracterizan por tener sensores de alta calidad y poco peso, de esta manera permiten realizar fotografías aéreas, oblicuas o verticales de forma rápida. Considerando así, el uso de la tecnología fotogramétrica digital, alcanzando información cuantitativa a distancia de esas fotografías, las mismas serán vinculadas a técnicas de percepción remota y fotointerpretación. Por lo que su uso se ve involucrado en todos los contextos de la Ingeniería Civil [1].

No obstante, al iniciar cualquier estudio o análisis de un proyecto civil, es de vital importancia analizar el relieve de la superficie, usando metodología topográfica, aquella información no solo es necesaria antes, sino durante y después de ejecutar un proyecto ingenieril [2].

Al implementar varias disciplinas, técnicas y métodos como un dron, fotogrametría digital, visión por computador, geoposicionamiento global, topografía y realidad aumentada, podemos proponer un procedimiento efectivo con la idea de aprovechar al máximo el rendimiento de esta unión de tecnologías, y usarlas como una herramienta indispensable para la extracción de datos dentro del campo de la ingeniería, diseño y construcción.

Lo que se pretende con este proyecto de tesis es realizar un correcto procedimiento fotogramétrico aplicada al campo de la topografía empleado un RPA'S "Remotly Pilot Aircarf System", mediante la elaboración de un correcto procedimiento para la toma de información, proceso y postproceso fotogramétrico, presentando resultados de una manera innovadora mediante el uso de realidad aumentada y planos 3D, obteniendo así un levantamiento topográfico seguro y preciso mejorando favorablemente la relación costo –

calidad y aportando información para la realización del proyecto de vinculación denominado “Diseño del sistema de alcantarillado sanitario de la comunidad Flor del Bosque”.

## **1.2. Formulación del problema.**

Con el avance de la tecnología, la topografía presenta grandes cambios por la implementación de nuevas técnicas e instrumentos que facilitan la realización de proyectos ingenieriles, los cuales nos permiten realizar mediciones para establecer la forma real de la superficie de la zona de estudio, pero muchas de las veces esta actividad puede complicarse, debido a que el terreno cuenta con extensiones muy grandes, altas pendientes y difícil acceso para realizar una topografía por un método convencional, así mismo las largas jornadas de trabajo, la seguridad de los jaloneros y los altos costos, son factores que afectan la calidad del trabajo.

Es por ello que profesionales, para estar al alcance de la tecnología han migrado hacia estas nuevas metodologías de trabajo, como es el caso de la fotogrametría la cual es realizada con equipos de vuelo denominados RPA's, con la finalidad de llegar a un mismo fin ahorrando tiempo y dinero.

Surgen entonces problemas relacionados a esta metodología de trabajo, debido a la falta de conocimiento por inconvenientes que pueda llegar presentar la fotogrametría sin encontrar solución, sin poder interpretar de manera correcta los datos obtenidos mediante la captura de imágenes aéreas a través de un dron. Es por ello que se deberá tener un conocimiento previo antes de realizar fotogrametría, ya que no bastará simplemente con la adquisición del equipo, sino existirán muchos parámetros como serán: que equipo debería elegir, tipo de sensores a considerar, autonomía, peso, como realizar un correcto post procesamiento de la información, softwares implicados según la necesidad, tipos de sistemas GNSS de precisión a usar y demás parámetros necesarios para realizar y garantizar un correcto uso esta tecnología, los cuales vamos a estudiarlos.

### **1.2.1. Delimitación del problema.**

Este trabajo permitirá generar una correcta metodología, para a través de técnicas fotogramétricas y visión artificial obtener información topográfica a detalle (2D y 3D), la

cual irá acompañado de revisión bibliográfica, analizando cada una de las disciplinas mencionadas anteriormente, entendiendo que son y cómo funcionan cada una de ellas; además, se analizarán variables como: planificación de vuelo, precisión, tipos de sensores, solapamiento de imágenes, cálculo de los tamaños de píxeles a diferentes alturas de vuelo, clima, velocidades, tipo de fotografías, dron a usar, errores, softwares de mapeo y visión artificial, sistema Rtk (real time kinematic), puntos GCP (ground control points), costos, etc.

Por consiguiente, esta tecnología será aplicada dentro del ámbito topográfico, ya que es una de las aplicaciones con mayor relevancia dentro del campo de la Ingeniería Civil, donde no se deberían presentar los inconvenientes planteados en la formulación del problema, es por ello que analizaremos esta tecnología, como una serie de métodos y procedimientos, donde a través del uso de fotografías aéreas verticales u oblicuas de un determinado objeto o superficie, obtendremos sus formas y dimensiones, verificando las ventajas y desventajas de la implementación de esta tecnología.

Todos estos aspectos serán importantes y harán factibles desarrollar el proyecto de titulación, en la que el profesional será capaz de recolectar, procesar e interpretar, obteniendo información necesaria para el diseño y construcción de sus proyectos.

### **1.3. Definición de la zona de estudio.**

El siguiente estudio se desarrollará en el cantón Biblián, parroquia Nazón, comunidad Flor del Bosque, ubicado al sur del Ecuador en la zona Austral.

Como se puede observar en la Ilustración 1, donde se establece la ubicación de la comunidad Flor del Bosque ubicada a 4 kilómetros del cantón Biblián aproximadamente.

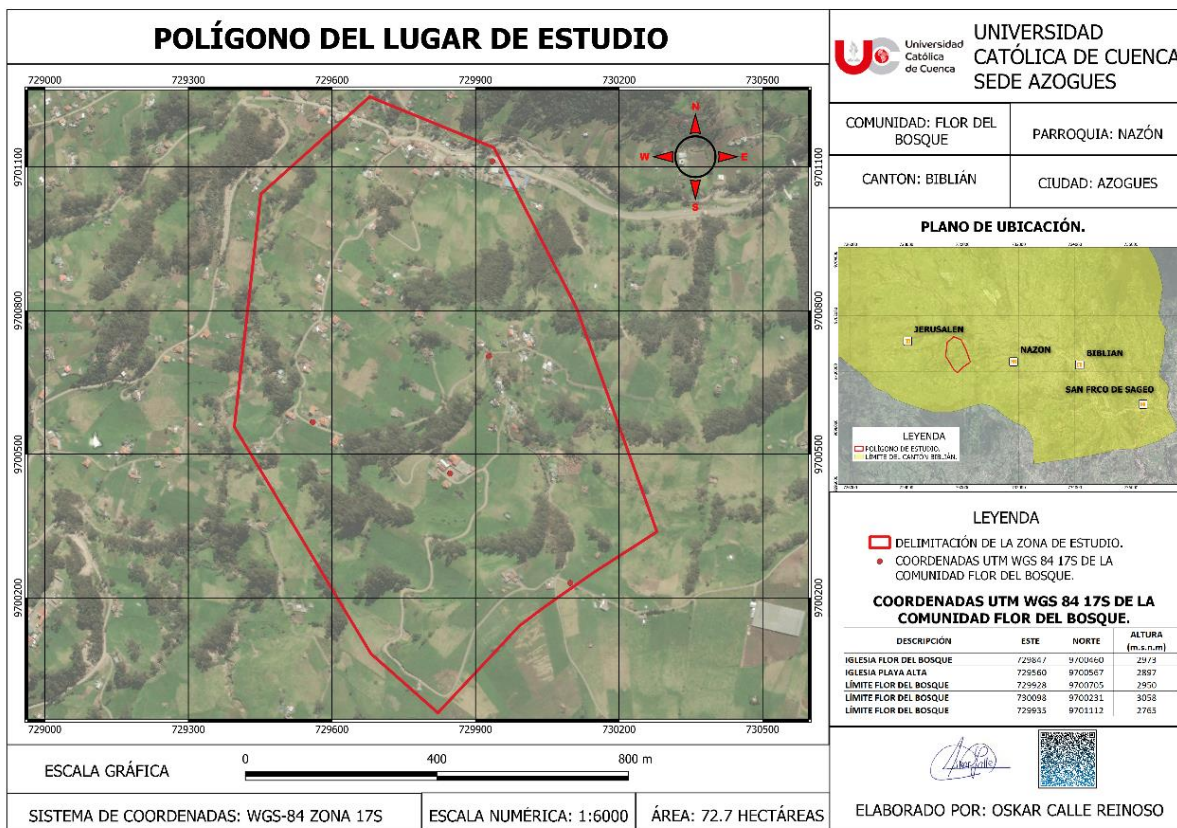


Ilustración 1 . Zona de estudio aproximada, ubicada en el Cantón Biblián, Parroquia Flor del Bosque **Fuente:** Elaboración Propia.

La localización geográfica de la comunidad flor del bosque, según el sistema coordinado universal UTM WGS 84 17S, se especifica en la tabla I.

Tabla I. Coordenada UTM WGS 84 17S de la Comunidad Flor del Bosque.

COORDENADAS	ESTE	NORTE	ALTURA (m.s.n.m)
IGLESIA FLOR DEL BOSQUE	729847	9700460	2973
IGLESIA PLAYA ALTA	729560	9700567	2897
LÍMITE FLOR DEL BOSQUE	729928	9700705	2950
LÍMITE FLOR DEL BOSQUE	730098	9700231	3058
LÍMITE FLOR DEL BOSQUE	729935	9701112	2765

#### **1.4. Justificación.**

Considerando la importancia de los equipos de vuelo, no tripulados pero controlados remotamente, lo que se intenta es ofrecer soluciones rápidas y precisas que ayuden a resolver problemas dentro del análisis e investigación usando drones de bajo costo y fácil acceso.

La fotogrametría mediante dron e tiene ventajas con respecto a los sistemas de visión de una cámara fija, ya que nos permite visualizar la zona desde una perspectiva diferente, permitiendo la toma de datos masiva en grandes extensiones de forma rápida, eficaz y precisa.

En consecuencia, esta investigación ofrecerá una solución remota, rápida, y precisa, con una correcta interpretación de los datos obtenidos en campo, para de esta manera aprender a procesar dicha información mediante un software de apoyo fotogramétrico y demás herramientas necesarias para su correcta aplicación.

Para ello, es necesario establecer una metodología paso a paso, como herramienta en el ámbito de la topografía, y así obtener datos precisos de la zona de estudio, usando tecnología de visión artificial, GNSS y fotogramétrica, donde es necesario obtener topografías a detalle, ortofotos y modelos digitales de elevaciones, los cuales ayudarán a delimitar zonas vulnerables, relieves y fallas geológicas presentes en el terreno.

La fotogrametría del lugar, será posible realizarla mediante la captura de imágenes a través de una cámara incorporada en un dron e, y softwares especializados encargados de procesar la información, para posteriormente obtener resultados de calidad mostrados en planos con modelamiento 3D, además estos resultados serán acompañados de tecnología de visión artificial.

Por otro lado la fotogrametría con UAV's garantizan ciertas ventajas como la seguridad de las personas, por el simple hecho de ser dispositivos que realizan el trabajo de manera automática; no es necesario que el ingeniero esté en contacto directo con los proyectos involucrados, minimizando el problema de conflictos con la población; Además el trabajo en campo se realizará en poco tiempo, con un mínimo personal de ayuda, evitando el contacto físico con las personas y disminuyendo los riesgos de contagio por la enfermedad Covid 19.

## **1.5. Objetivos.**

### **1.5.1. Objetivo General.**

Analizar el uso y funcionamiento de equipos no tripulados pero controlados remotamente referente al ámbito de la fotogrametría y topografía, a través de la creación de un procedimiento eficiente para la captura de información, planificación de vuelo, proceso y post-proceso fotogramétrico, obteniendo topografías a detalle del proyecto “Diseño del sistema de alcantarillado sanitario de la comunidad Flor del Bosque” y así establecer una correcta interpretación y análisis de la información recolectada.

### **1.5.2. Objetivos Específicos.**

- Estudiar el problema de la disciplina de fotogrametría, que establece que es posible obtener modelos 3D de precisión.
- Analizar los tipos de drones existentes hasta la fecha.
- Generar la solución del problema planteado, investigando los inconvenientes que puede presentar la fotogrametría y así crear un correcto procedimiento a través de una serie de pasos a seguir para la realización de una correcta topografía usando fotografías con drone.
- Realizar la georreferenciación de la información obtenida GCP (ground control points).
- Registrar los datos obtenidos de fotogrametría en los softwares de apoyo en este caso Pix4D Mapper, ArcGIS, Qgis, MicroStation TerraSolid.
- Mostrar los resultados obtenidos, a través de planos y difusión usando tecnología de realidad aumentada.

## 2. CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO Y MARCO CONCEPTUAL.

### 2.1. Drone.

Profesionalmente se lo conoce por el nombre de RPA'S "Remotly Pilot Aircarf System", UAV "Unmanned Aereial Vehicle"; etc. Cuyas traducciones las definen como un sistema de pilotaje de aeronaves a control remoto, que pueden ser programadas para volar automáticamente pero controladas por un piloto [3].

También se lo puede definir como una aeronave con varios motores que por medio de propulsión e impulsión realiza movimientos y vuelos. Para que el RPA's se mantenga estable respecto al eje, la mitad de sus hélices giran en un sentido y la otra mitad giran en sentido inverso [3].

Gracias a su rapidez y versatilidad los drones nos permiten realizar planificaciones de vuelo y levantar gran cantidad de información en muy poco tiempo, con una gran resolución de imagen, obteniendo información de la zona sin tener contacto directo con ella gracias a la captura de datos de la superficie terrestre usando sensores "cámaras" instaladas en aeronaves controladas (véase figura 1) [4].

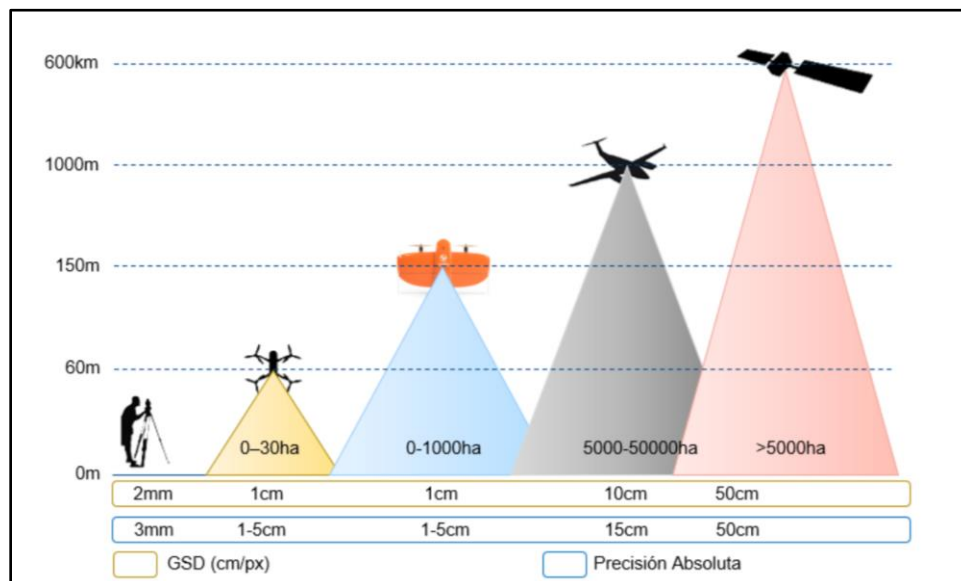


Figura 1. Resoluciones que pueden presentar los RPA'S Fuente [4].

## 2.2. Tipos de RPA's para fotogrametría.

En las últimas décadas los drones han cambiado la manera de ver las cosas, ya que gracias a sus fotografías y videos aéreos podemos obtener información del medio viéndolo desde una perspectiva diferente, convirtiéndose en una herramienta necesaria para realizar trabajos e investigaciones, por lo que podemos clasificarlos según su autonomía de vuelo y la forma de sus alas (véase figura 2) [4].

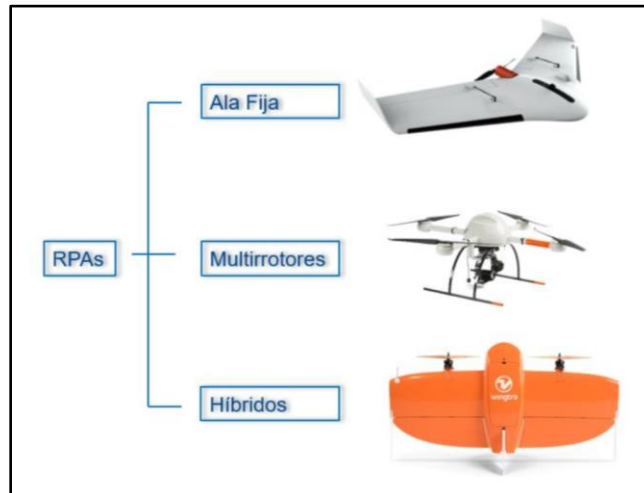


Figura 2. Tipos de RPA'S Fuente [4].

### 2.2.1. Drones de ala Fija.

Se caracterizan por tener diseños similares a los aviones, pero en dimensiones mucho más pequeñas, poseen una autonomía de vuelo eficaz siendo capaces de llegar hasta los 90 minutos de vuelo con un excelente desempeño aerodinámico [4].

Estos drones están destinados a volar grandes hectáreas de terreno, siendo capaces de cubrir hasta 1200 hectáreas en un vuelo, poseen gran estabilidad y resistencia al viento alcanzando velocidades de hasta 120 km/h en velocidades crucero, hay que tener en cuenta que se debe contar con áreas adecuadas y despejadas para sus aterrizajes [4].

### 2.2.2. Drones multirrotores.

Estos tipos de RPA'S son los más comunes ya que poseen equipos con bajos costos, dimensiones pequeñas, cómodo transporte, y facilidad de vuelo. Se denominan multirrotores

porque pueden tener diferentes números de hélices, es decir: helicóptero 2, cuadricóptero 4, hexacóptero 6, y octocóptero 8 [4].

La ventaja que presentan estos tipos de drones son el despegue y aterrizaje vertical, pudiendo volar en cualquier lugar y momento, una desventaja que presenta es su autonomía de vuelo llegando a tener un máximo de 30 minutos, cubriendo áreas generalmente entre 20 y 60 hectáreas [4].


### 2.2.3. Drones Híbridos.

Estos tipos de drones son una mezcla entre los de ala fija y los multirrotores, su despegue y aterrizaje es igual a uno de tipo multirrotor, pero al momento de vuelo funciona como un avión, pueden portar cámaras digitales de alta calidad y presentan gran autonomía durante el vuelo cubriendo grandes extensiones de terreno, estos tipos de drones pueden ser equipados con receptores GNSS de alta eficiencia [4].

En el mercado tecnológico existe un sin número de marcas y tipos de vehículos aéreos no tripulados, (véase tabla II) donde se encuentran los drones más usados según su necesidad y tipo de ala; además las marcas que más sobresalen dentro de este mercado son las siguientes: (Véase figura 3).

Tabla II Diferentes tipos de drones y marcas dominantes encargadas de realizar fotogrametría.

<b>Drones dominantes en mercado mundial para fotogrametría</b>					
<b>Drones de ala fija</b>		<b>Drones multirrotores</b>		<b>Drones híbridos</b>	
<b>Nombre</b>		<b>Nombre</b>		<b>Nombre</b>	
eBee Classic		Albris		WingtraOne	
eBee SQ		Phantom 4 pro- Phantom 4 pro RTK			
eBee X		Inspire 1-2			

Drones dominantes en mercado mundial para fotogrametría		
Drones de ala fija	Drones multirrotores	Drones híbridos
Nombre	Nombre	Nombre
Parrot Disco 	Matrice 200 -300 RTK 	
	Matrice 600 	

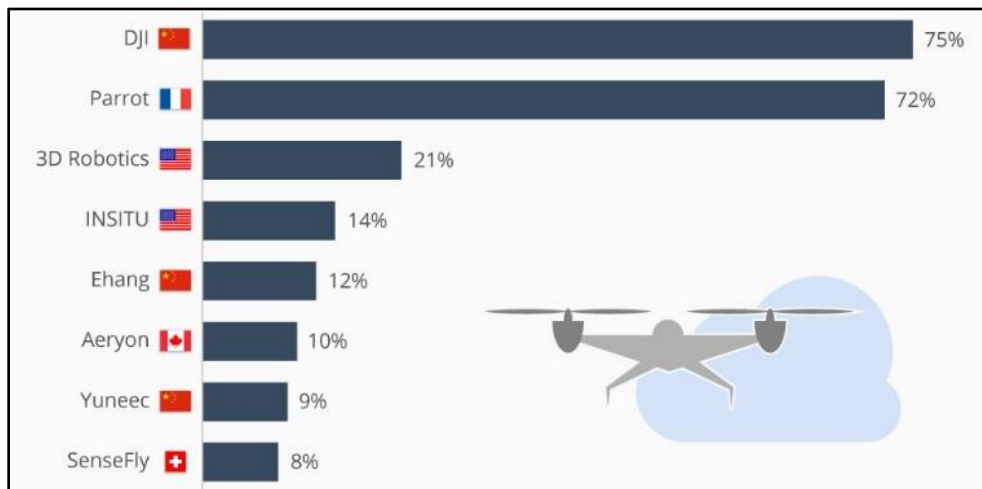


Figura 3. Fabricantes líderes de drones comerciales **Fuente** [5].

Dentro de las marcas reconocidas a nivel mundial de drones tipo cuadricóptero sobresale la marca DJI, la cual presenta una alta gama de equipos de bajo costo y fácil acceso destinadas a la fotografía y fotogrametría (véase Anexo1).

### 2.3. Partes Básicas de un dron.

Un dron se compone de las siguientes partes que son [6]:

- **Motores, hélices y ESCs:** Todos en combinación son los mecanismos principales para que el dron pueda elevarse en el aire, la potencia eléctrica suministrada por los motores es regulada por el ESCs (Electronic Speed Control), las mismas que controlarán la velocidad de giro del rotor, que conjuntamente con las hélices harán que este se eleve en el aire;

- **Controlador de vuelo:** Se define como el centro de control de todos los movimientos del dron, el cerebro que identifica e inspecciona todos los aspectos para que este funcione;
- **Mando o control remoto:** Es un aparato integrado de botones y un joystick destinado a controlar los movimientos y elevaciones del drone;
- **Radio receptor:** Aquel que está encargado de transmitir la señal a partir del mando hasta el controlador del drone;
- **Baterías:** Destinadas a proporcionar energía al dron para que este pueda elevarse y maniobrarse suelen ser de bajo peso y alta descarga.

#### 2.4. Mecánica de funcionamiento de un RPA'S tipo cuadricóptero.

Un drone tipo cuadricóptero para que pueda elevarse es necesario que dos de sus alas giren en sentido horario y las otras dos en sentido antihorario (véase figura 4); gracias a este tipo de movimiento existe un equilibrio de los momentos o pares de fuerzas de las hélices, obedeciendo al principio de acción reacción de Newton que permite la estabilidad del drone en el aire. Sin este movimiento giraría descontroladamente hasta caer [6].

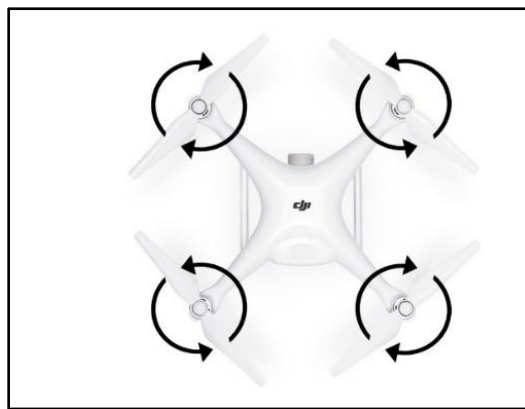


Figura 4. Tipos de movimientos generados por las hélices de un cuadricóptero **Fuente** [7]

El movimiento de las alas del drone se realizan a un tiempo y velocidad relativa, creando una fuerza de empuje mayor al peso del drone haciendo que se eleve, provocando así una fuerza vertical que es mayor al peso del drone, es por ello que se considera un movimiento acelerado por ser una fuerza que actúa sobre una masa [6].

Los cuadricópteros tienen cuatro tipos de movimientos: **guiñada:** movimiento realizado en sentido horario o antihorario en relación al eje vertical, **inclinación:** movimiento en el cual girará hacia la derecha o izquierda en relación al eje transversal, **cabeceo:** movimiento hacia adelante o atrás en relación a su eje transversal y **altitud:** movimiento hacia arriba o abajo respecto al eje vertical (véase figura 5) [6].

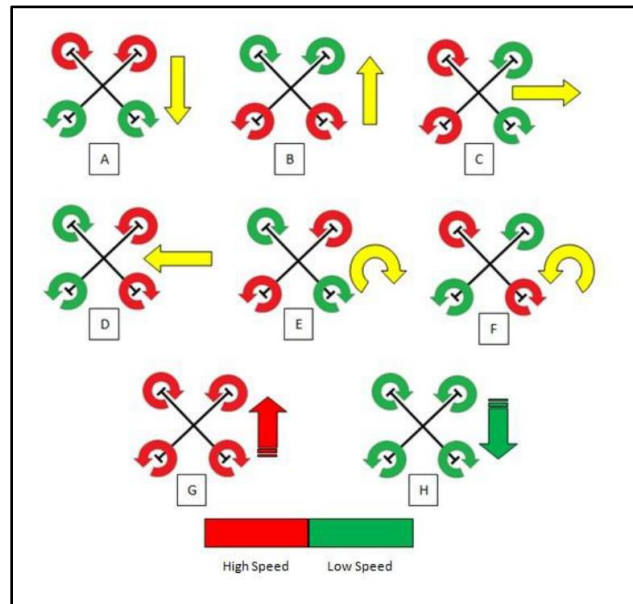


Figura 5. Diferentes tipos de movimientos de motores de un cuadricóptero **Fuente** [6].

#### 2.4.1. Uso y aplicaciones de los RPA's dentro de la ingeniería.

Con el pasar del tiempo los drones se han incorporado en todas las ramas tecnológicas, una de ellas es la ingeniería, en donde gracias a estos equipos se obtienen nuevas alternativas rápidas y seguras como son [8]:

- Inspecciones aéreas de obras civiles, redes de agua potable, tuberías de conducciones para hidroeléctricas, infraestructuras, cableado de redes eléctricas y demás obras de difícil acceso para el personal encargado.
- Monitoreos de desastres naturales y evaluaciones de la gravedad que provocó el mismo de manera instantánea.
- Levantamiento de información para topografías y cartografía de manera rápida, precisa y segura.

- Monitoreos de contaminación atmosférica, chequeo de superficies contaminadas que puedan presentar un riesgo para la salud.
- Control de plagas, mediante agricultura de precisión con equipos de riego incorporados en los RPAS y cámaras multiespectrales.
- Monitoreo de zonas protegidas y especies vulnerables sin provocar impactos al ambiente por ser equipos eléctricos que no emiten gases dañinos.

#### **2.4.2. Normativa Ecuatoriana para el uso de los RPAs.**

En noviembre del año 2020, la Dirección General de Aviación Civil (DAC), en su resolución DGAC-DGAC-2020-0110-R, emitió un reglamento para el uso de drones en el país, debido al incremento del uso de esta tecnología en actividades diarias, algunas de estas disposiciones son [9]:

- Mantener la aeronave a una distancia de 9 km, de los límites o linderos de espacios aéreos controlados o zonas de seguridad del estado;
- Los vuelos de los RPAs no deberán sobrepasar la altura de 122 metros de alto.
- Volar a distancias de mayores o iguales a 150 metros de cárceles;
- Volar únicamente en horarios desde la salida hasta la puesta del sol, siempre que las condiciones meteorológicas sean las óptimas para mantener contacto visual con el equipo;
- La persona encargada de realizar una actividad con RPAs será el responsable del equipo durante todo el vuelo;
- Prohibido el uso drones a personas que se encuentren fatigadas, en estado etílico o haber consumido cualquier droga;
- Realizar vuelos automáticos siempre y cuando el operador pueda tomar el control del equipo en cualquier momento;
- El equipo deberá ser registrado y contar con una póliza de daños a terceros;
- Cumplir con todas las limitaciones dadas por el fabricante del equipo.

## 2.5. Fotogrametría.

La fotogrametría se ha definido como un proceso a través del cual se puede obtener información métrica y geométrica (dimensión, forma, posición) de un objeto, a través de mediciones e interpretaciones realizadas dentro de la fotografía, sin tener contacto físico con los objetos [10].

La fotogrametría tiene como función principal, crear modelos 3D a partir de información vectorial en 2D, obteniendo características geométricas e información de los objetos presentes en la fotografía; Estas relaciones pueden ser de dos tipos: analógicamente, la cual se realiza mediante artificios ópticos o mecánicos, y analíticamente, en donde el proceso digital es mediante el uso de un computador y el modelado es analítico [10].

La fotogrametría puede dividirse en 2 áreas: **interpretativa**, aquella que analiza y trata de reconocer los objetos presentes en las imágenes interpretando de manera minuciosa el significado que presentan cada una de ellas y la **métrica**, considerada la de principal interés para los topógrafos, ya que trata de obtener información bidimensional y tridimensional, para ser usada en la delimitación de distancias, secciones transversales, volúmenes, áreas, elevaciones y creación de mapas cartográficos, los mismos que son creados mediante la unión de imágenes aéreas realizadas con drones, también se pueden usar fotografías terrestres con cámaras emplazadas en tierra para mejores detalles en los modelos 3D [1].

## 2.6. Fundamentos de la fotogrametría.

“El principio en el que se basa la fotogrametría, consiste en proyectar de forma ortogonal sobre un plano de referencia, la imagen registrada en una fotografía, la cual ha sido proyectada sobre el negativo, mediante la proyección central que es usada por las lentes” [1, p. 58].

Se asume que la proyección central de las imágenes en la fotogrametría es precisa, esto implica que no puede haber desviación de los rayos de luz, definiéndose como líneas imaginarias que atraviesan los lentes de la cámara, proyectándose las imágenes sobre una superficie perfectamente plana (véase figura 6), además la relación matemática en la cual se relaciona el objeto con la imagen se llama principio de colinealidad [1].

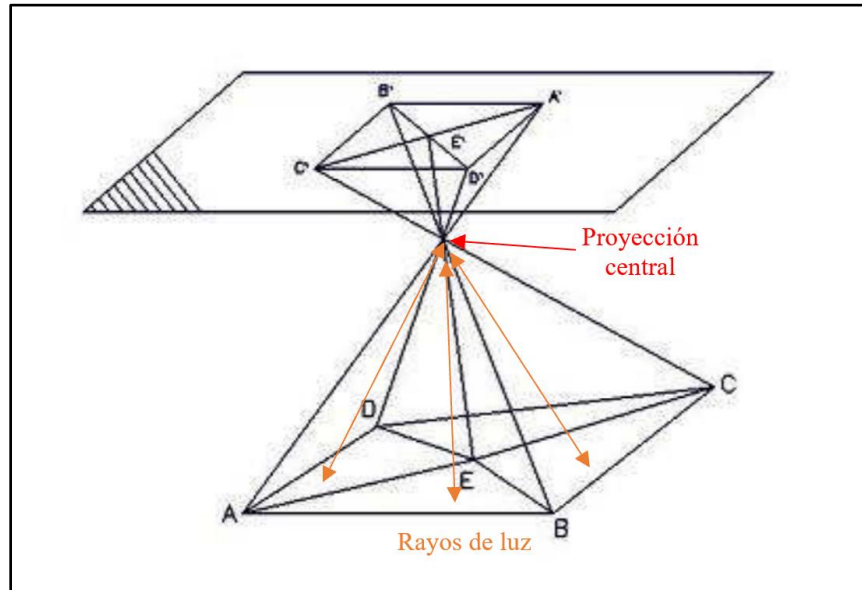


Figura 6. Los rayos de luz atraviesan la proyección central inciden en el otro lado sobre un plano de proyección **Fuente** [11].

Con el aumento de las capacidades de proceso mediante computadoras, y una gran disponibilidad de imágenes en formatos digitales, se ha generado, una gran variedad de adaptaciones de técnicas de otras disciplinas como son [10]:

- **Procesamiento digital por imágenes.** Este proceso involucra tareas como: restauración, compresión, segmentación o descripción de imágenes;
- **Reconocimiento de patrones.** Esto se genera gracias a la interpretación de imágenes a través de un ordenador, obteniendo automáticamente la extracción de patrones característicos de las imágenes;
- **Inteligencia artificial.** Involucra al estudio de técnicas, permitiendo interpretar de mejor manera las imágenes a través de tecnología artificial y el uso de un computador.

Cuando se habla de visión por computador, se refieren a estas técnicas aplicadas en el ámbito de la fotogrametría. En la que su objetivo principal es crear descripciones de objetos mediante la unión de imágenes. Además se ha incorporado métodos de visión por computador en el mundo de la fotogrametría, siendo de gran ayuda en la automatización de tareas, reduciendo el trabajo del operador fotogramétrico [10].

## 2.7. Ventajas y limitaciones de la fotogrametría.

### 2.7.1. Ventajas de la fotogrametría.

- **Reducción de costos.** - El proceso fotogramétrico está estrechamente relacionado con el área de estudio, mientras más extenso sea el terreno, más rápido será realizarlo por este método, generando más competitividad frente a los demás métodos topográficos [1].
- **Reducción de trabajo en campo.** - Esta actividad puede ser muy tediosa y demorada mediante métodos convencionales, por factores como: lluvia, terrenos inaccesibles, por lo que la fotogrametría reduciría en gran escala la estadía en el campo [1].
- Además, la fotogrametría, garantiza seguridad al momento de realizar trabajos en terrenos donde no pueden utilizarse los métodos clásicos, como pueden ser: selvas densas, montañas con pendientes empinadas, zonas pantanosas; etc [1].
- Al tomar fotografías de alta calidad, se podrá conseguir una mayor interpretación de los objetos presentes en el ortomosaico a la hora de dibujar un plano.
- Mediante la fotogrametría se podrá obtener modelos 3D de la zona de estudio mediante postprocesos fotogramétricos.
- Con la fotogrametría se obtendrá mejores generaciones de superficies y nubes de puntos, gracias a la gran riqueza de puntos 3D con coordenadas (x, y, z) que se podrán obtener de cada imagen, ayudándonos a definir el terreno con gran calidad y detalle.
- Se podrá realizar reconstrucciones de paisajes por medio de nubes de puntos densas y modelos 3D.

### 2.7.2. Desventajas de la fotogrametría.

- En zonas con cobertura vegetal demasiado densa, es complicado colocar marcas flotantes de georreferenciación, ya que no se podrán visualizar desde el aire fácilmente complicando el trabajo de fotogrametría [1].
- Pueden ocurrir errores de píxeles dañando fotografías y perdiendo detalles de la zona de interés.
- En zonas con poca luz, las fotografías podrían salir borrosas y perder calidad de detalle a la hora de ser procesadas.

- En muchos de los casos las fotografías no traspasan la vegetación y al momento de procesar las imágenes los productos finales presentan elevaciones falsas y erróneas.
- Las baterías en algunos drones de gama baja y media, tienen poca autonomía de vuelo limitándose a realizar un área más pequeña por vuelo.
- El viento demasiado fuerte y la lluvia harán imposible realizar toma de fotografías.

## **2.8. Clasificación de la fotogrametría**

### **2.8.1. Fotogrametría terrestre.**

Es aquella en la cual las fotografías son tomadas sobre una plataforma terrestre; fue la principal aplicación práctica de la fotogrametría, además como principal característica se podría decir que la posición de los elementos externos de la cámara son conocidos [12].

### **2.8.2. Fotogrametría aérea.**

A la imagen o conjunto de imágenes de la superficie terrestre la denominamos fotografía aérea, las cuales son tomadas por una cámara montada en un aparato ya sea: un avión, un drone, un globo aéreo [12].

La obtención de una fotografía, se basa en el principio de percepción remota, es decir la capacidad de los cuerpos de la litósfera para absorber, dispersar o reflejar la luz que se obtiene del sol o cualquier elemento capaz de emitir rayos de luz [13].

La energía que se refleja sobre los objetos (suelo, vegetación, agua) pasa por los sistemas de lentes de la cámara, generando una gama de tonalidades de gris o colores en el negativo, permitiendo así la creación de distintas imágenes de los objetos, en donde la claridad de las fotos dependerán de la mayor o menor capacidad de reflexión de luz [13].

## **2.9. Conceptos generales de elementos de una cámara aérea.**

### **2.9.1. Abertura útil.**

“Es el número que mide en mm el diámetro del haz de rayos incidentes paralelos al eje óptico del objeto” [14, p. 10].

### **2.9.2. Abertura útil relativa.**

“Es el consciente de dividir la abertura útil por la distancia focal del objetivo” [14, p. 10].

### **2.9.3. Profundidad del foco.**

“Es la distancia que aparta las condiciones extremas del plano focal, siempre que haya nitidez en la imagen del objeto” [14, p. 10].

### **2.9.4. Profundidad de campo.**

“Es la separación existente entre 2 planos extremos en profundidad en campo del objeto, para que su imagen fotográfica aparezca nítida” [14, p. 11].

### **2.9.5. Ángulo de campo.**

“Es la determinado por las líneas que unen el centro óptico con 2 extremos del diámetro del diafragma” [14, p. 11].

### **2.9.6. Luminosidad.**

“Es el poder que tiene el objeto de recoger luz. Para una distancia focal dada, cuando más pequeño sea este número, mayor será el diámetro del lente y mayor la luminosidad o rapidez del objeto” [14, p. 11].

### **2.9.7. Eje óptico.**

“Es la recta que pasa por el eje principal a través del centro de las lentes, el eje óptico es vertical al plano focal” [15]

### 2.9.8. Distancia Focal (f).

“Es la distancia desde la lente al foco a lo largo del eje óptico” [15].

### 2.10. Clasificación de la Fotogrametría Aérea.

Se clasifican en formas diferentes, una de ellas está en función del campo angular de la lente, mediante la cual se capturan fotografías, cuyos ángulos tienen valores de 90, 60 y 120, pudiendo ser lentes normales, gran angulares o super gran angulares, (véase figura 7) [12].

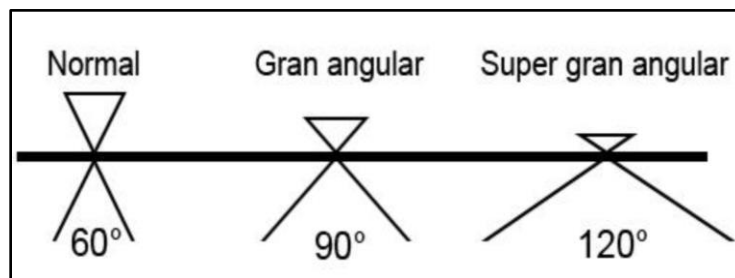


Figura 7. Ángulos de las fotografías según el tamaño del lente **Fuente** [12].

Además, según la inclinación del lente con respecto a la vertical, puede clasificarse en 2 categorías: verticales y oblicuas, en las cuales la fotografía vertical su eje óptico encaja con la vertical del terreno, y la fotografía oblicua su eje óptico coincide con el ángulo de inclinación del terreno, en la que el ángulo de inclinación menores a 30° se denominan oblicuas bajas, y mayores a 30° oblicuas altas, (véase figura 8) [12].

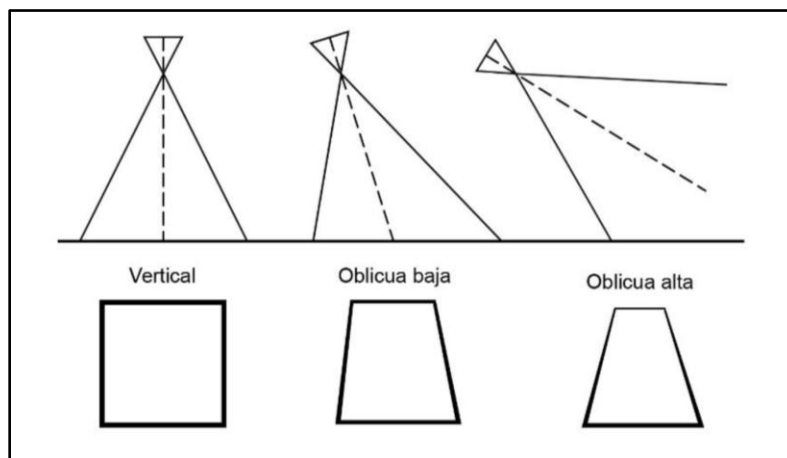


Figura 8. Diferentes ejes de cámaras presentes en las fotografías **Fuente** [12].

Las fotografías oblicuas pueden presentar mayor detalle en la geometría de escenas, mostrando mayor calidad en nube de puntos, facilitando medir objetos presentes en construcciones o grandes edificaciones, las fotografías verticales son perfectas para trabajos de fotogrametría o mapeo en donde su interpretación es más complicada, pero gracias a su geometría se calcula las formas y medidas de objetos con mayor precisión [12].

La geometría básica de la fotografía aérea vertical se observa en la figura 9, donde la luz que es plasmada en el negativo o plano focal de la cámara, es proyectada a través del lente de la cámara, dejando pasar luz a la misma. Además la geometría de los rayos de luz es definida por la distancia focal, las cuales generarán la fotografía plasmada del terreno en el negativo de la cámara [12].

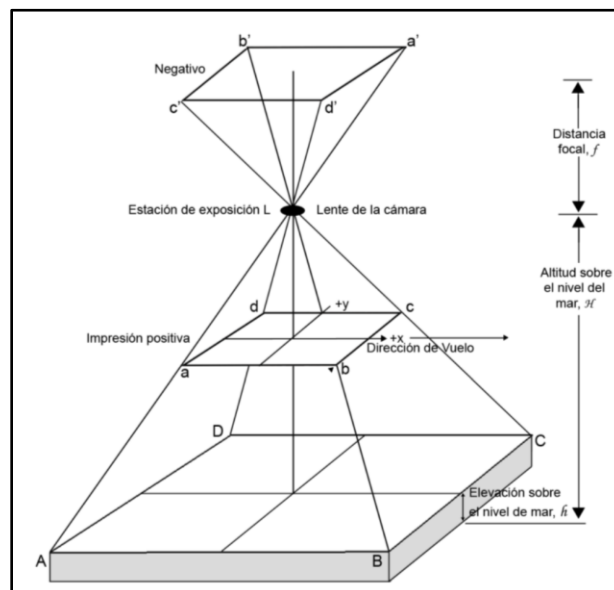


Figura 9. Geometría básica de la fotografía aérea vertical **Fuente** [12].

### 2.10.1. Tipos de vuelos aéreos

Existen 3 tipos de vuelos aéreos [14]:

- **Vuelo nadiral.** Es aquel en el que la proyección focal es completamente vertical.
- **Vuelo vertical.** Es similar al vuelo nadiral, pero la diferencia es que su ángulo que separa la vertical y el eje de levantamiento es inferior o igual a 3 grados.

- **Vuelo inclinado.** Se considera inclinado cuando el ángulo que separa la vertical y el eje de levantamiento es mayor a 3 grados.

Siempre hay que considerar que en fotogrametría aérea los vuelos son generalmente nadirales o verticales (véase figura 10).

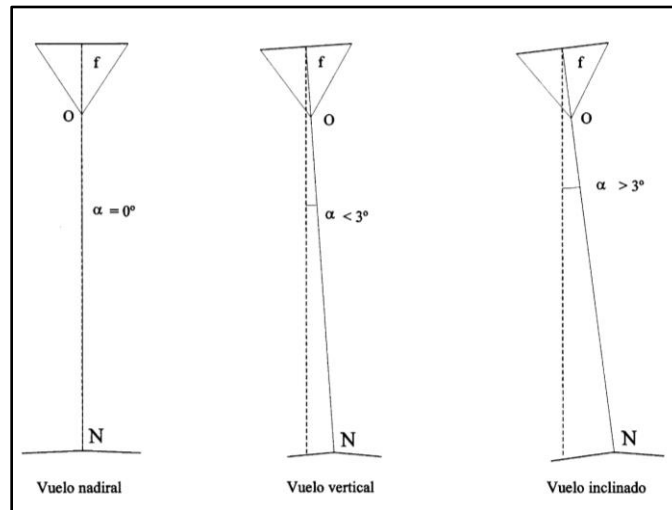


Figura 10. Clasificación de los tipos de vuelos, donde la relación O-N es la altura de vuelo. **Fuente** [14].

### 2.11. Precisión de un levantamiento.

En cualquier levantamiento puede ocurrir errores, los cuales pueden deberse a fallas del equipo por una mala calibración (error accidental), errores que se incrementan en la misma dirección (error sistemático), o errores generados por una equivocación del personal (errores groseros) [1].

Nunca se deberá confundir en un levantamiento entre precisión y exactitud, ya que la precisión será un valor en decimales que representará una determinada magnitud. En cambio, la exactitud será la diferencia entre ese valor real y el valor medido de la magnitud [1].

Las características de un levantamiento siempre variarán dependiendo de las necesidades requeridas de detalles y precisión, considerando que siempre estos valores tendrán una tolerancia máxima establecida por las diferentes entidades y municipios, y no se deberá de sobrepasar [1].

### **2.11.1. Percepción Remota.**

“Es la medida de algunas propiedades de un objeto, sin que el elemento de medición se encuentre en contacto físico con él” [1].

Para que sea posible la percepción remota el aparato de medición deberá irradiar algún tipo de energía haciendo que el dispositivo lo registre. Todos los objetos con temperaturas superiores al cero absoluto emiten energía electromagnética, generalmente con intensidades muy bajas, además varios objetos tienen la propiedad de reflejar energía emitidas de cuerpos diferentes [1].

### **2.11.2. Propiedades de la Fotografía.**

Las fotografías en sus márgenes generalmente contienen [13]:

- Distancia focal;
- Hora y fecha en la que se tomó la fotografía;
- Altura de vuelo (indicada por el altímetro);
- Coordenadas x, y, z captada por su sistema GPS;
- Numeración y nombre que le pertenece a la fotografía.

### **2.11.3. Nitidez de la fotografía.**

La calidad de la nitidez de la fotografía depende principalmente de [13]:

- La cantidad de luz incidente;
- El tiempo de exposición;
- A abertura del diagrama;
- La sensibilidad de emulsión.

## 2.12. Aspectos geométricos de una fotografía aérea vertical.

### 2.12.1. Escala de la fotografía.

Es la relación entre 2 líneas semejantes una del terreno y otra del fotograma, las cuales estarán en función de la escala que queremos presentar y el tamaño de los objetos que se requieren encontrar, (véase figura 11), esta escala viene dada por la siguiente fórmula [4]:

$$E_F = \frac{1}{m_b} = \frac{f_c}{H} \quad (1)$$

Donde [4]:

$f_c$ = distancia focal o distancia principal de la cámara;

$H$ = Altura de vuelo sobre el terreno;

$m_b$ = escala de la fotografía.

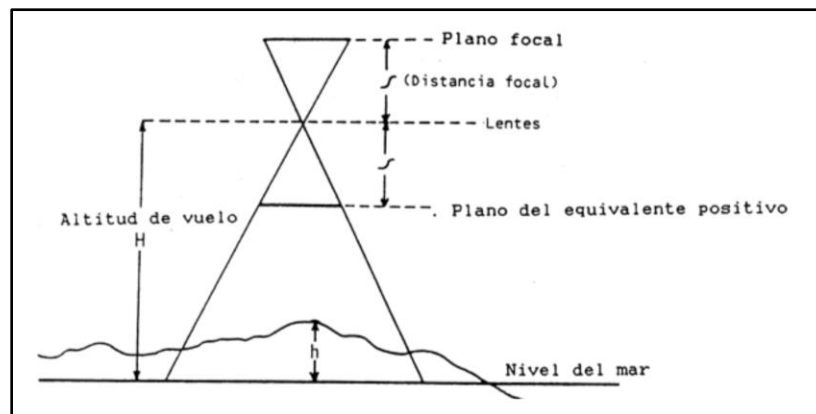


Figura 11. Aspectos geométricos de una fotografía vertical Fuente [15].

El valor de la escala fotográfica es un valor promedio, respecto a un plano de referencia, ya que en terrenos ondulados existirán infinitos valores de escala debido a la existencia en el terreno de puntos elevados y valles profundos [4].

Es necesario conocer los parámetros internos de la cámara, y así establecer la escala de una imagen digital (EFD), conocidos como tamaño de pixel [4].véase la siguiente ecuación:

$$E_{FD} = \frac{1}{m_b} = \frac{1}{(GSD \div T_p) \times 10^4} = \frac{T_p}{GSD} \times 10^4 \quad (2)$$

**Donde [4]:**

$T_p$  = tamaño de píxel ( $\mu\text{m}$ );

GSD = Representación del píxel en el terreno (cm);

$m_b$  = Escala de la fotografía.

### 2.13. Resolución de píxel GSD y altura de vuelo.

El GSD de su traducción del inglés (Ground Sample Distance), es la representación de la medida de un píxel sobre el terreno, la cual está en función de muchos parámetros como: las especificaciones de la cámara, el ancho del sensor, la distancia focal de la cámara, el ancho de imagen, mientras menor sea la distancia de la cámara y el suelo mayores serán los detalles que mostrarán las fotografías, (véase figura 12) [4].

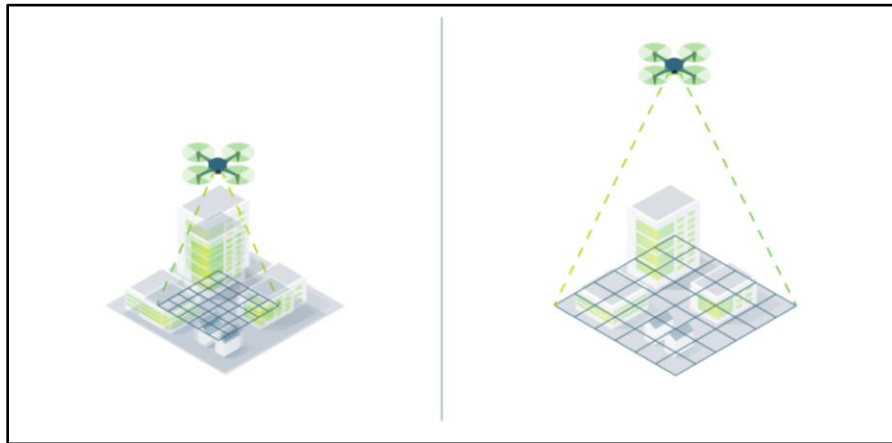


Figura 12 Vista de la cámara de un dron a diferentes altitudes **Fuente** [16].

***Nota.** La altura en la que se encuentra el equipo afectará a la calidad de la imagen, se tendrá mayor vista del terreno, pero se sacrificaría calidad de píxeles [16].*

Dentro de proyectos, valores de GSD altos darán menos detalles de píxeles perdiendo calidad de los objetos presentes dentro de las imágenes, (véase figura 13).



Figura 13 Representación de un píxel sobre el terreno **Fuente** [16].

*Nota.* La imagen de la izquierda representa un GSD de 5 cm/píxel, mientras que la imagen de la derecha un GSD de 30 cm/píxel [16].

Para calcular el GSD se utiliza la siguiente expresión [4]:

$$GSD = \frac{(\text{Tamaño de píxel}) \times (\text{Altura de vuelo})}{\text{Distancia Focal de la cámara}} \quad (3)$$

El valor del GSD, podrá cambiar debido a que las imágenes no tendrán un mismo tamaño de píxel por la diferencia de desniveles que puede presentar el terreno, cambios de ángulos de la cámara, es por eso que el software usará un valor de GSD promedio al momento de procesar toda la información [16].

El valor del GSD a calcular dependerá de las necesidades y requerimientos de su proyecto, es decir si se desea modelar estructuras complejas se usará valores muy bajos de GSD y así obtener el mayor detalle posible [16].

## 2.1. Pixel.

En una imagen digital, el píxel es el componente más pequeño, compuesto por una unidad homogénea de color en la que se suman variaciones de colores, con la finalidad de crear una imagen teniendo en cuenta que es necesario una gran cantidad de píxeles para que esta imagen sea completa [1].

La geometría de un píxel puede ser cuadrada o rectangular, pudiendo presentar diferentes tonalidades de colores como blanco, gris o negro, además las combinaciones de píxeles son infinitas en una imagen, pudiendo visualizarlos con mayor detalle mediante el empleo de zoom [1].

## 2.2. Visión estereoscópica.

Es aquella propiedad que tiene el ojo humano para observar objetos en 3 dimensiones, el cual recibe información tridimensional por la diferencia de imágenes captadas de un mismo objeto a través de los ojos, esto se da principalmente porque la imagen formada en cada ojo es una proyección central con centro de proyección diferente [17].

El fundamento de la fotogrametría se centra en la propiedad de observar dos fotografías de un mismo lugar, las cuales son obtenidas en un vuelo fotogramétrico desde dos puntos diferentes (con una parte común denominada recubrimiento) y bajo ciertas condiciones es posible la obtención de una sensación tridimensional de la zona (véase figura 14) [17].

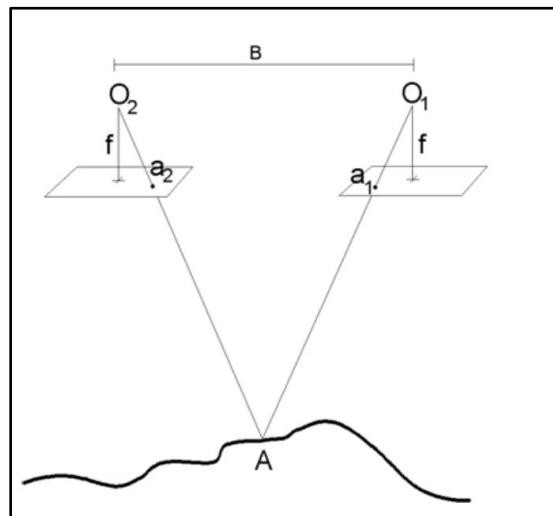


Figura 14 Fotografías tomadas desde diferentes lugares mostrando puntos homólogos entre ellas **Fuente** [17].

## 2.3. Problemas de la fotogrametría en la obtención de modelos 3D.

### 2.3.1. Origen de la fotogrametría 3D.

La fotogrametría es un término que su origen se basa en antiguos mapeos 2D de terrenos, que fueron creados mediante la captura de imágenes tomadas desde un avión a una altura constante, al unir estas fotografías formaban un plano con gran detalle, sin embargo, el avance tecnológico ha permitido la creación de modelos 3D a través de fotografías de forma sencilla y barata [18].

Actualmente el incremento de la potencia de las computadoras y la mejora de los algoritmos de reconocimiento de patrones de las imágenes digitales han dado paso a que la fotogrametría sea una herramienta poderosa para la creación de modelos tridimensionales [18].

### **2.3.2. Obtención de modelos 3D a partir de fotografías 2D.**

El algoritmo encargado de realizar todos los procesos fotogramétricos en cualquier software se basa en calcular las posiciones y ángulos de las imágenes tomadas, las cuales son bidimensionales, pero con un correcto procesamiento nos ayudarán a crear modelos tridimensionales [19].

Actualmente usando programas especializados en fotogrametría se puede calcular un aproximado de las posiciones de la cámara en relación al objeto real, a través del trazado de rayos, los cuales asociarán en las imágenes puntos conocidos y mediante algoritmos matemáticos obtener las posiciones relativas de esos puntos en un sistema 3D [19].

El principal problema que puede presentar la fotogrametría es crear una incorrecta reconstrucción geométrica de un objeto 3D a través de fotografías aéreas, debido a errores generados por los softwares que confunden la geometría de las imágenes que presentan puntos en común creando un trazado de rayos erróneo.

Además, es posible obtener modelos 3D con imágenes tomadas con una cámara y objetos no calibrados, siempre que se mantengan los mismos parámetros a la hora de la toma fotográfica. Estos modelos no podrán tener medidas reales pero si medidas relativas, las cuales a través del uso de puntos de apoyo terrestre podrán ser transformadas a medidas reales e incluso ser geoposicionadas [18].

## **2.4. Cámaras.**

La clasificación de las cámaras puede ser:

**Panorámicas.** - Son aquellas que mediante una sola fotografía son capaces de cubrir superficies muy extensas, las cuales toman el terreno de extremo a extremo en dirección perpendicular con la del vuelo [1].

**Multibanda.** - Se caracterizan por poseer varias cámaras en las cuales las fotografías son tomadas al mismo tiempo, obteniendo de cada una de ellas información del mismo terreno pero con diferentes características puesto que la combinación de filtro y película son diferentes en cada imagen [1].

**Convencionales o aero-fotogramétricas.** -Su función principal es tomar fotografías para fines de interpretación de información de la misma o mediciones métricas [1].

### **2.5. Imagen Digital.**

Es aquella que mediante una matriz numérica empleando bits, integrada por dígitos binarios (1 y 0), crea una representación bidimensional de una imagen mediante el uso de cualquier dispositivo digital y la informática [1].

Dependiendo si la resolución de la imagen es estática o dinámica, se podría tratar de un gráfico rasterizado o mapa de bits, el cual muestra una rejilla rectangular de píxeles o punto de color, los mismos que pueden ser visualizados en una computadora, en un papel o cualquier dispositivo que se use, también puede ser representado en un gráfico vectorial, el cual son imágenes producto de objetos geométricos independientes, su principal ventaja es que se puede ampliar el mismo sin modificar su escala [1, p. 73].

### **2.6. Imagen Vectorial.**

“Se define como una imagen digital, la misma que está conformada por objetos geométricos independientes (puntos, líneas, polígonos, arcos, entre otros), definiéndolos a cada uno por distintos atributos matemáticos de forma, color y posición”[1].

### **2.7. Imagen raster.**

Se define como cualquier tipo de imagen digital, la cual almacena su información en celdas a través de píxeles, donde cada celda representa un valor único [20].

## **2.8. Imágenes RAW.**

Se definen como aquellas imágenes que no presentan modificaciones, generando una tonalidad de datos con mayores profundidades de color de 36 a 48 bits/píxel, decir se presentan tal y como fueron captadas por el sensor digital de la cámara [1].

## **2.9. Imágenes JPG.**

Es el formato de archivo más usado en la actualidad por las cámaras de fotografía digitales y dispositivos para toma de imágenes, las mismas que pueden presentar diferentes variaciones de formatos como pueden ser: JPEG/Exif, JPG/JFIF; muchas de las veces no se distinguen estos formatos, es por ello que usa la terminología JPEG (Join Photographic Experts Group), los cuales usan la extensión jpg [1].

### **2.1. Sistemas de referencia de coordenadas geográficas.**

#### **2.1.1. Latitud y Longitud.**

Se sabe que el planeta tierra se divide en paralelos y meridianos, donde el paralelo principal es la línea del Ecuador y el meridiano principal es el de Greenwich; es entonces necesario conocer que la latitud como la longitud son ángulos [21].

Se entiende entonces que la latitud es un ángulo vertical entre 2 líneas, una que va desde el origen, al punto contenido en el plano meridiano del punto, y la otra línea es contenida en el plano del Ecuador y meridiano del punto en cuestión, las 2 pueden llegar hasta los 360 grados [21].

En cambio, la longitud es el ángulo horizontal entre 2 líneas la una pertenece al meridiano de Greenwich y la otra al meridiano del punto en cuestión [21].

La latitud se mide de 0 a 90 grados hacia el polo norte, y de 0 a -90 grados hacia el polo sur; la longitud en cambio se mide partiendo desde el meridiano de Greenwich de 0 a 180 grados hacia la derecha y de 0 a -180 grados hacia la izquierda (véase figura 15) [21].

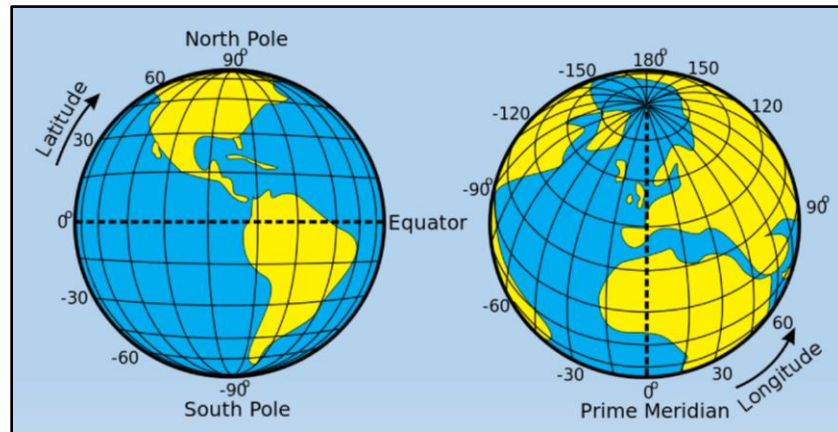


Figura 15. Sistema de coordenadas geográficas **Fuente** [21].

## 2.2. Elipsoide y Geoide.

Los programas de fotogrametría usan a los geoides y elipsoides para reconocer o asignar un sistema de coordenadas a los productos fotogramétricos a obtener [21].

### 2.2.1. Geoide.

Es una superficie gravitacional equipotencial que se ubica aproximadamente al nivel medio del mar, su principal característica, es que todos los puntos a la dirección de la gravedad son perpendiculares entre ellos [22].

### 2.2.2. Elipsoide.

“Se define como la superficie matemática, obtenida al hacer girar la elipse alrededor del eje polar de la tierra” [22].

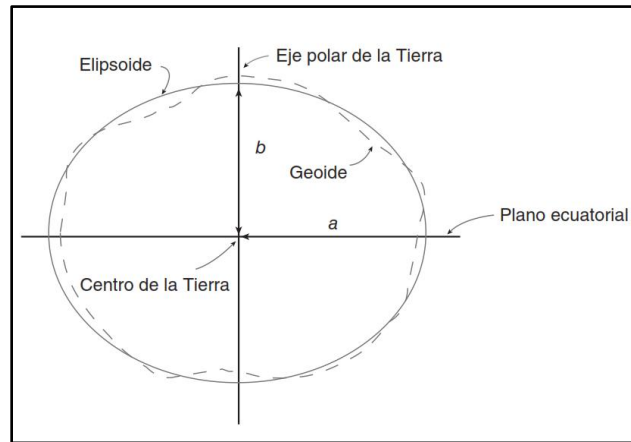


Figura 16 Vista Bidimensional del Elipsoide y del Geoide **Fuente** [22].

**Nota.** Como se observa en la figura 16 el geoide no puede definirse matemáticamente por poseer ondulaciones no uniformes, por otro lado los elipsoides cercanos al geoide pueden definirse matemáticamente, por lo que se usan para determinar posiciones de puntos no espaciados [22].

### 2.3. Softwares de Fotogrametría.

En el mercado tecnológico existe una gran variedad de softwares especializados para el procesamiento de imágenes obtenidas en campo y post-procesamiento de las mismas, los cuales varían en función al costo, disponibilidad y trabajabilidad que presenten, a continuación, se mencionan los más conocidos en fotogrametría:

#### 2.3.1. Pix4D Mapper.

Es un software destinado al procesamiento de imágenes tomadas con dispositivos desde el aire o suelo, el cual crea modelos digitales de elevaciones, nube de puntos y ortomosaico con gran precisión, además la tecnología de aerotriangulación automática basada en una imagen, convertirte la cámara en una herramienta de medición [1].

Este programa presenta licencias pagadas (véase figura 17), pero posee una licencia gratuita de 15 días, para poder tener una interacción directa con este software.

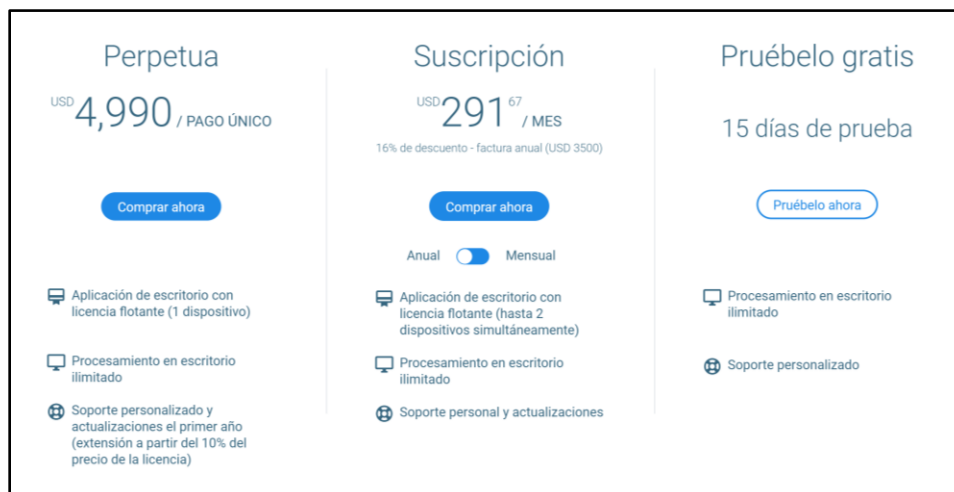


Figura 17 Precios de las licencias comerciadas por el software pix4Dmapper **Fuente** [23]

### 2.3.2. Global Mapper.

Es un software dedicado al tratamiento de datos espaciales, los cuales son aceptados en un sinnúmero de formatos. Fue desarrollado para trabajar como herramienta SIG en proyectos ya existentes o poder crear uno desde cero, su característica principal es que tiene la capacidad de ingresar directamente a fuentes en líneas de imágenes, mapas topográficos y datos DEM/DSM con gran resolución [24].

### 2.3.3. MicroStation y su complemento Terrasolid.

Es un software dedicado a procesar datos tomados principalmente por dispositivos lidar, el cual procesa la calibración de datos, nube de puntos, ortomosaico, DEM, DSM, y demás productos generados de un levantamiento fotogramétrico, todo esto mediante el empleo de realidad aumentada [25].

## 2.4. Softwares de edición de productos fotogramétricos.

En el mercado tecnológico existe una gran variedad de softwares especializados para el post-procesamiento de productos fotogramétricos, los cuales varían en función al costo, disponibilidad y trabajabilidad que presenten, a continuación, se mencionan los más conocidos:

### **2.4.1. Civil3D.**

Es un programa creado y distribuido por la empresa Autodesk, destinado al diseño y generación de documentos para trabajos de ingeniería civil ya sea creación de carreteras, vías, topografía, alcantarillados, etc. Siendo capaz de soportar flujos de trabajo para modelamiento BIM (Building Información Modeling) convirtiéndose en un software líder debido a sus capacidades de edición y creación de dibujo mediante planos [26].

### **2.4.2. ArcGIS y Qgis.**

Son softwares destinados al uso y aplicación de sistemas de información geográfica o SIG. Además, en conjunto con otras aplicaciones se usan para la captura de información, creación, análisis, trazado, diseño de productos para información geográfica, estos softwares son producidos y comercializados por la empresa ESRI [1].

## **2.5. Modelamiento 3D y visión computacional.**

Es una representación matemática de cualquier objeto tridimensional, mediante un software especializado, y usando realidad aumentada en la cual un objeto 2D, mediante artificios computacionales puede convertirse en 3D [27].

### **2.5.1. Visión artificial o computacional.**

Es aquella que mediante el uso de una computadora e imágenes tomadas por una cámara, es capaz de interpretar los objetos presentes en la imagen, además de su posición en el espacio [28].

### **2.5.2. ¿Qué es visión?**

“Visión es un proceso producido a partir de las imágenes del mundo exterior, una descripción útil para el observador y que no tiene información irrelevante”[28, p. 13].

El objetivo principal de la visión por computador es ingresar imágenes en un ordenador, obteniendo la misma imagen pero describiendo cada una de las características que posee [28].

La visión por computador es una dificultad compleja, por la gran cantidad de factores que se combinan en una imagen en la que proyecta un mundo 3D en un plano 2D, lo cual genera que el tamaño y forma de los objetos cambien, así como la perspectiva y la oclusión [10].

### **3. CAPÍTULO III METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN PARA LA TOMA DE INFORMACIÓN EN EL CAMPO.**

#### **3.1. Técnicas e Instrumentos necesarios para la recolección de datos.**

Antes de comenzar cualquier proyecto fotogramétrico, es necesario realizar una correcta planificación de vuelo, para evitar pérdidas del equipo o una mala toma de información durante el vuelo.

Como primer paso para ejecutar una correcta fotogrametría, es realizar una visita in situ del lugar, donde se tomarán coordenadas con cualquier tipo de navegador que tenga un sistema de proyección cartográfico, para conocer la ubicación de la zona, la toma de información nos permitirá cargar dichas coordenadas en un software de apoyo en este caso “Google Earth”, el cual nos facilitará la creación de un polígono, delimitando el área a realizar el vuelo.

La técnica más importante en fotogrametría será la de observación, ya que con esto podremos determinar puntos vulnerables y peligrosos como pueden ser árboles, montañas, cables, torres de luz, edificaciones; etc, que puedan generar inconvenientes al momento de realizar un vuelo con dron y esta sufra un daño, gracias a esta técnica podremos evaluar la zona y así realizar un adecuado plan de vuelo.

#### **3.2. Método de investigación en el campo.**

##### **3.2.1. Técnicas realizadas con el Phantom 4 Pro.**

Siempre es necesario conocer los equipos que se van a usar al momento de realizar un proyecto, en este caso nos enfocaremos en el dron marca DJI Phantom 4 pro V2, el cual será el equipo a usar en este proyecto.

El Phantom 4 pro v2, es un cuadricóptero de la marca DJI, el cual presentan todas las características necesarias para realizar fotogrametría, ya que integra una cámara de 20 megapíxeles capaz de sacar fotografías con gran nitidez y claridad, sistemas de posicionamiento GPS Y GLONASS, sistema por el cual se detectan obstáculos en 5 direcciones, formado por sensores de visión e infrarrojo capaz de esquivar obstáculos durante el vuelo [29].

Además, presenta una transmisión de vuelo HD de larga distancia llegando a alcanzar los 7km, sus baterías tienen una capacidad de 5870 mAh, con celdas de batería mejoradas ofreciendo vuelos de hasta 30 minutos ideales para cubrir una gran cantidad de terreno en un solo vuelo [29].

### 3.2.2. Requisitos necesarios para poder volar un dron.

Siempre es necesario conocer los requisitos mínimos que se deben llevar a cabo antes de ejecutar cualquier vuelo, como primer paso es quitar la abrazadera ubicada en la parte inferior donde se encuentra el gimbal de la cámara.

Luego se proceden a colocar las hélices, tomando en cuenta que las dos hélices con una marca negra se colocan en los motores con marcas negras las dos restantes en los motores sin marca de color, esto es muy importante revisar ya que como se vio anteriormente el movimiento de los motores del dron se realizan dos sentidos y este color nos indicará cuales giran de manera horaria y cuáles no.

Para colocar las hélices es necesario realizar una leve presión encima del motor del dron y girar en dirección que le indique el candado de bloqueo dibujado en el ala (véase figura 18).

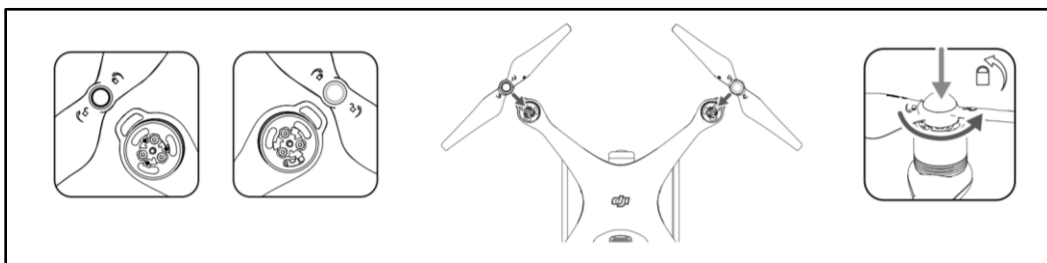


Figura 18 Modo de colocación de las hélices en un dron **Fuente** [29].

### 3.2.3. Encendido y apagado de la batería del dron.

Antes de colocar la batería en el dron se verificará que la misma este con carga, para esto con la batería apagada se presionará el botón de encendido, donde las luces led en color verde indicarán el porcentaje de carga que presenta ese momento (véase figura 19 y 20).

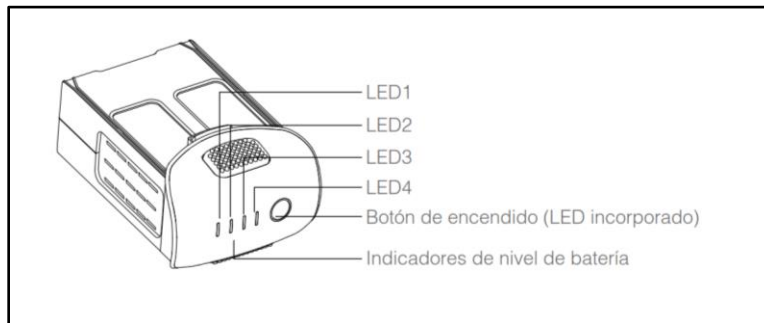


Figura 19 Batería de un dron **Fuente** [29].

Indicadores de nivel de batería				
LED1	LED2	LED3	LED4	Nivel de batería
☐	☐	☐	☐	87,5 %~100 %
☐	☐	☐	☐	75 %~87,5 %
☐	☐	☐	☐	62,5 %~75 %
☐	☐	☐	☐	50 %~62,5 %
☐	☐	☐	☐	37,5 %~50 %
☐	☐	☐	☐	25 %~37,5 %
☐	☐	☐	☐	12,5 %~25 %
☐	☐	☐	☐	0 %~12,5 %
☐	☐	☐	☐	=0 %

Figura 20 Indicadores del nivel de batería de un dron **Fuente** [29].

Sabiendo que la batería se encuentra cargada en base a la cantidad de leds a encenderse se la colocará en el dron y se procederá a encender la misma, para esto se presionará el botón de encendido soltar y volver a pulsarlo por unos 3 segundos aproximadamente hasta que las luces led se mantengan en el nivel de batería que presente ese instante y el dron haga un pequeño sonido.

Para apagar el dron se realizará el mismo procedimiento se presionará una vez el botón de encender, soltar presionar por unos 3 segundos aproximadamente las luces led empezarán a parpadear y se apagará el equipo.

Considerar siempre que no es recomendable volar el RPA en temperaturas muy bajas menores a 0 grados centígrados, ya que podría provocar fallos en el sistema y perder el equipo, para ellos se recomienda mantener la batería con una temperatura aproximada de 20 grados centígrados; en tal caso que sea necesario volar el dron con la presencia de bajas temperaturas, se recomienda encender el equipo y dejarlo por unos minutos hasta que la batería tenga la suficiente temperatura y poder volarlo [29].

#### 3.2.4. Configuración del control remoto del dron.

Como un paso principal, será conectar un celular inteligente o tableta al control, para esto se liberará el soporte incorporado en el mismo el cual nos facilitará colocar el dispositivo para una mayor comodidad, previo a esto conectarlo mediante cable USB para que exista la comunicación entre el mando y el dispositivo (véase figura 21).

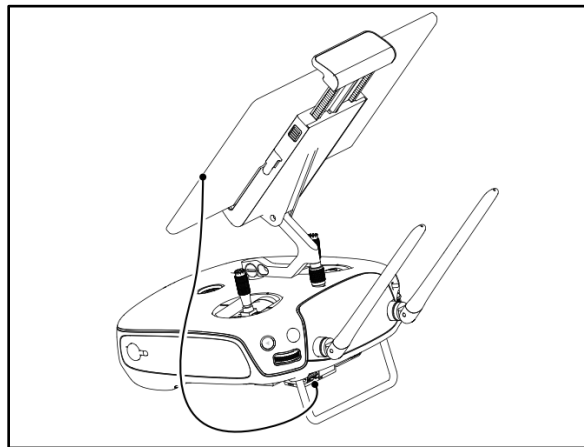


Figura 21 Conexión del control del dron a la tableta o celular **Fuente** [29].

Además, siempre se debe ajustar las antenas de transmisión de señal entre el dron y el controlador a un intervalo óptimo para que no pierda señal con el equipo.

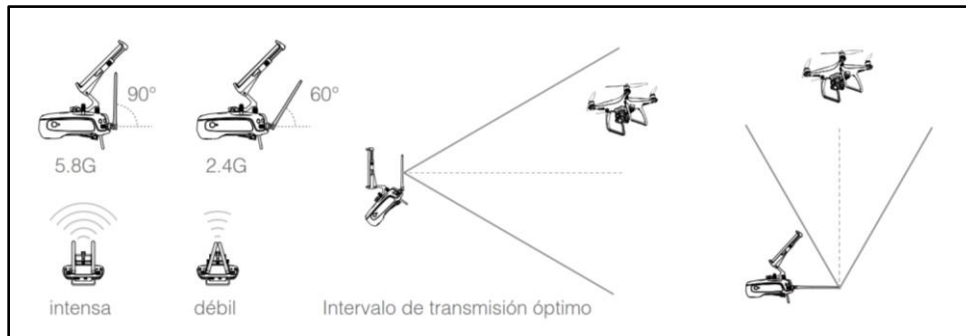


Figura 22 Ajuste recomendado de antenas de transmisión de señal entre el control y el dron **Fuente** [29].

**Nota.** Como se observa en la figura 22 el ángulo de inclinación de las antenas será indispensable para tener un intervalo óptimo de transmisión de señal entre el dron y el control, recuperado de [29].

Para establecer una conexión entre el control y la aeronave, primero se verificará el nivel de batería que presenta el mismo, para ello se presionará el botón de encendido donde se iluminarán leds en color blanco indicando el nivel de batería que presenta ese momento. Comprobado esto se procederá nuevamente a oprimir el mismo botón con la combinación: presionar, soltar y presionar otra vez por unos segundos hasta que el control encienda.

La aplicación “DJI GO 4”, la cual está desarrollada específicamente para drones de la marca DJI, nos permitirá configurar todas las funciones de la aeronave antes de realizar el vuelo; asimismo la misma nos permitirá observar en tiempo real lo que la cámara del dron capta.

Antes de encender los motores del dron hay que verificar dentro de la aplicación “DJI GO 4”, que el gimbal y brújula estén calibrados, de no ser el caso se procederá a calibrar siguiendo las indicaciones que nos indique la aplicación.

### 3.2.5. Procedimiento para calibración de brújula.

Siempre es importante calibrar la brújula cada que nos traslademos a un lugar diferente con el dron, el procedimiento de calibración es muy sencillo, basta simplemente con entrar en la aplicación “DJI GO 4”, seleccionar brújula y opción calibrar, luego se tendrá que girar horizontalmente 360 grados y de la misma manera verticalmente (véase figura 23),

considerar que este procedimiento se debe realizar en una zona despejada libre de interferencia electromagnética.

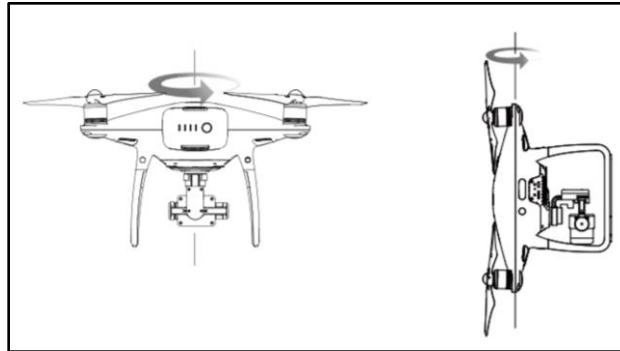


Figura 23 Procedimiento de calibración de brújula del dron **Fuente** [29].

Otros beneficios que ofrece la aplicación “DJI GO 4” es que se puede establecer la altura máxima y distancia máxima a la que deseamos que el equipo vuele, considerando las normativas vigentes de cada país en nuestro caso Ecuador la altura máxima de vuelo según la DAC (Dirección General de Aviación Civil), es de 122 metros.

Además, verificar parámetros mostrados en pantalla como son nivel de batería, voltaje, número de satélites conectados, calidad de conexión de video, señal al radio control, sensores conectados y demás parámetros que el usuario podrá establecer según sus necesidades (véase figura 24 y 25).

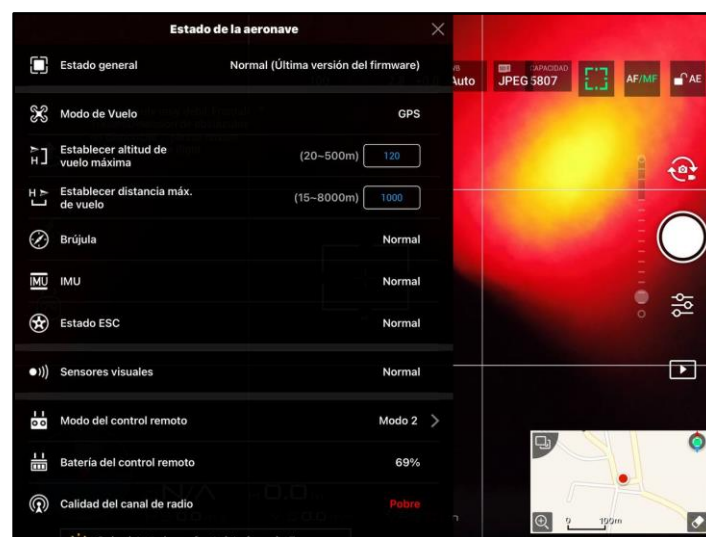


Figura 24. Interfase de la aplicación DJO GO4 **Fuente:** *Elaboración Propia.*

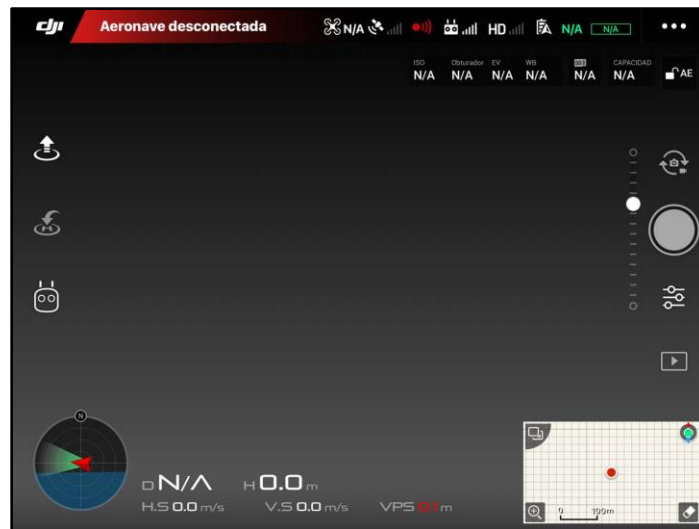


Figura 25 Interfase de la aplicación DJI GO4 Fuente: Elaboración Propia.

Verificado todos estos parámetros la aplicación dará luz verde donde indicará que es seguro volar y puede encender los motores de la aeronave, para encender los motores se usará una combinación de las palancas del control moviéndolas hacia el interior o exterior hasta que los motores empiecen a girar y ahí soltar (véase figura 26).

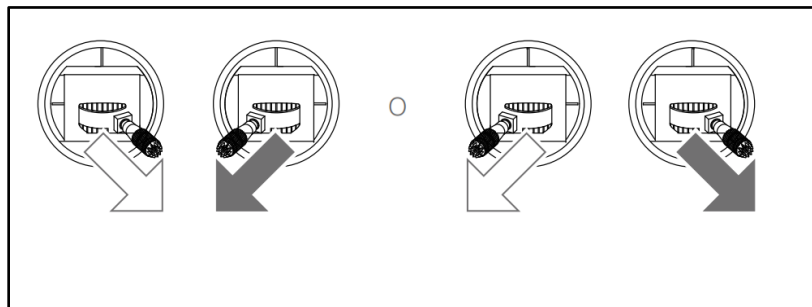


Figura 26 Procedimiento para encender los motores de un drone Fuente [29].

Para elevar el dron existen diferentes modos de vuelo, en el cual el modo de vuelo 2 viene configurado por defecto, (véase figura 27) donde se indican los diferentes modos de vuelo y el funcionamiento de las palancas según el tipo a elegir.

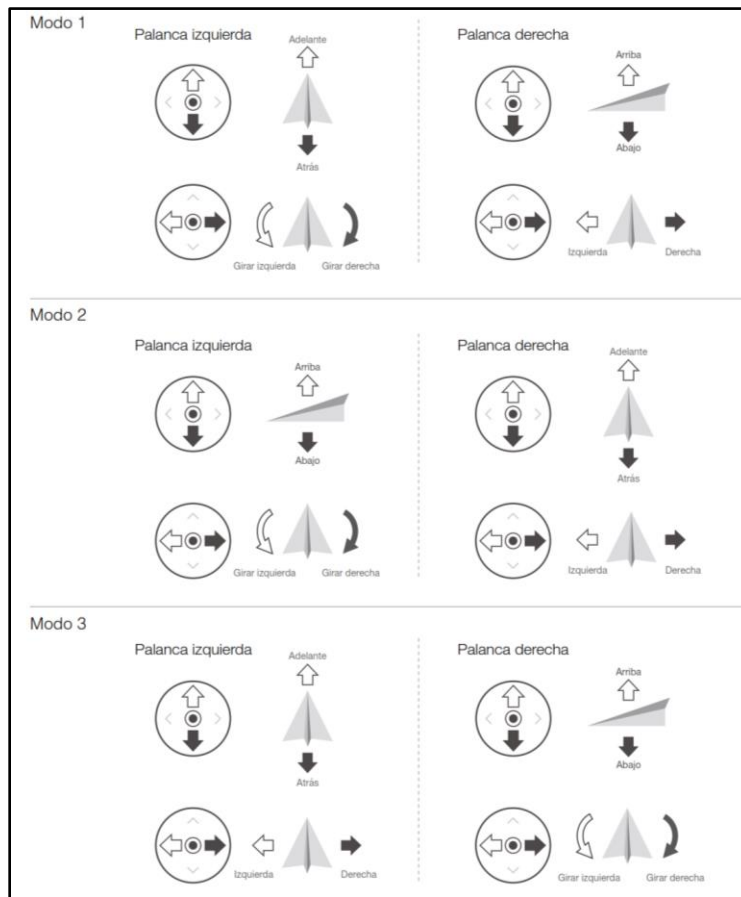


Figura 27 Diferentes modos de controlar el dron a través del control Fuente [29].

### 3.3. Consideraciones necesarias antes de volar el drone.

Antes de realizar cualquier vuelo fotogramétrico hay que evaluar la zona a levantar la información, y así determinar factores que puedan influir las cuales vamos a nombrar a continuación.

#### 3.3.1. Clima.

El clima es uno de los parámetros más fundamentales a considerar antes de volar un drone, es por ello que nunca se volará en situaciones de lluvia o vientos muy fuertes que sobrepasen la resistencia que ofrece el equipo provocando que este caiga, es por ello que siempre se deberá verificar el clima en la zona ya sea mediante la observación del cielo o con pronósticos de aplicaciones dedicadas a dar información de este factor.

Una de las aplicaciones más usadas es “UAV Forecast” (véase figura 28), la cual nos dará información en tiempo real de la zona, velocidades, orientación del viento, pronósticos de lluvia, etc.

Siempre volar en horas con gran cantidad de luz, ya que las fotografías en condiciones de poca luz pueden salir oscuras y borrosas.



Figura 28 Aplicación para pronóstico de clima de drones **Fuente:** Elaboración Propia.

### 3.3.2. Puntos de Control.

Los puntos de control de su traducción de las ingles GCP (ground control points), son marcas identificables desde el aire colocadas dentro del área de interés, estos puntos son tomadas mediante receptores GNSS, con colectoras en modo RTK con figuraciones (Base-Róver), los cuales nos ayudarán a posicionar el mosaico y dar precisión al mismo.

Para realizar la toma de información el equipo de trabajo deberá tener un mínimo de 2 receptores GNSS (Base y Móvil), los cuales se conectarán entre si mediante frecuencias de radio emitidas por unas antenas colocadas en los equipos. Los datos serán tomados mediante un colector con un software capaz de procesar, analizar y visualizar la información a obtener [4].

Además, las marcas colocadas en el suelo, deberán tener formas cuadradas o circulares las mismas que en su centro tendrán un punto de intersección en forma de cruz donde será tomada la coordenada, estas marcas tendrán que ser lo suficientemente grandes para ser vistas a diferentes alturas de vuelo.

Los tamaños de las marcas colocadas dependerán de la altura que se elevará el equipo el tipo de cámara empleada, la distancia focal que tendrá la cámara, en nuestro caso usaremos una cámara de 20 megapíxeles, con una distancia focal de 8,60 milímetros, la cual a alturas de 80 o 90 metros podrán visualizar con gran facilidad marcas del tamaño de un metro; hay que considerar que si el tamaño de las marcas es mayor será mucho mejor.

Las marcas, podrán ser hechas de lonas, cintas reflectivas o pintadas directamente en el suelo con pinturas de agua, con colores que no se pierdan con el terreno, una recomendación es usar el color blanco en conjunto con otro color para facilitar la identificación de los mismos (véase figura 29).

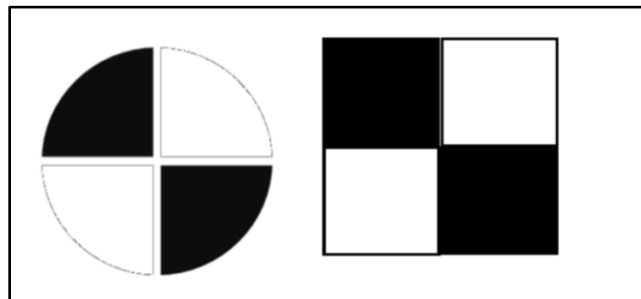


Figura 29 Diferentes tipos de marcas a usar como GCP Fuente [4, p. 54].

### 3.4. Ubicación, y colocación de los puntos de control.

Estos pueden ser planificados mediante una vista satelital del terreno, generalmente se usa Google Earth, donde se ubicarán zonas visibles para colocar los puntos de control, pero a veces las fotografías satelitales son antiguas, es por ello la recomendación de realizar la visita in situ para poder verificar que las zonas donde se desean dejar los puntos de control sean despejadas fácilmente visibles desde el aire [4].

Al colocar los puntos de control, se debe verificar que el terreno donde se coloca sea firme y lo más horizontal posible, no tenga árboles alrededor para que puedan identificarse al menos en 5 fotografías [4].

Siempre hay que considerar que al colocar los puntos de control deben generar una estabilidad entre ellos para que, al momento de generar el mosaico, este no se desfase o gire perdiendo precisión.

El número de puntos de control a usar dependerá del tamaño de terreno, orografía, la densidad de la vegetación; un software fotogramétrico podría trabajar con un mínimo de 3 puntos de control, pero varios autores recomiendan colocar siempre 5 GCP como mínimo en terrenos pequeños menores a 5 hectáreas, además recomendable tener puntos extras de apoyo los cuales no usaremos en los cálculos, pero si en verificaciones de precisión [30].

En casos de terrenos con orografías complicadas o muy extensos, los puntos de control estarán ubicados de acuerdo al criterio del consultor ya que estas siempre variarían, una recomendación es colocar cada 500 o 1000 metros lineales, considerando que siempre se requiere de un análisis previo (véase figura 30) [30].

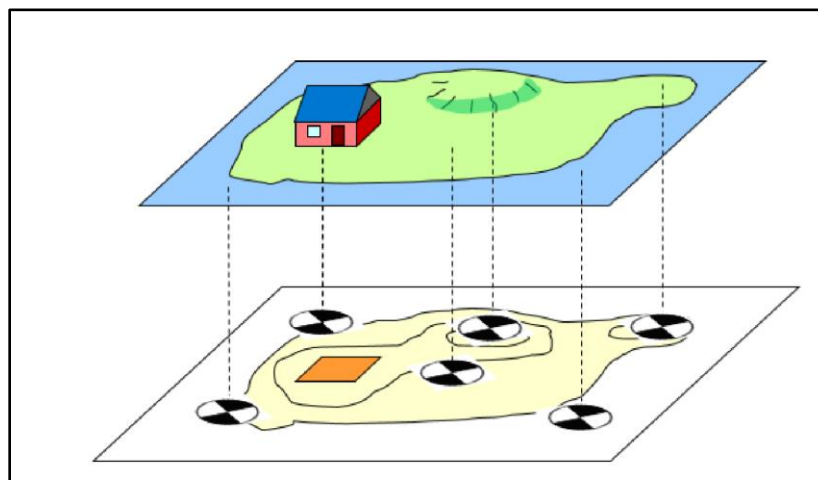


Figura 30 Distribución de los GCP en el terreno Fuente [4].

Según experiencias de diferentes autores recomiendan colocar cierta cantidad de puntos de control dependiendo del tamaño del terreno, (véase tabla III) los cuales darán una buena precisión.

Tabla III Número de puntos de control a usar según recomendaciones.

<b>Recomendaciones de la Cantidad de Puntos de Control a Usar</b>		
1-5 hectáreas	4-5	GCP
5-20- hectáreas	5-7	GCP
20-100 hectáreas	7-10	GCP
100-500 hectáreas	$\geq 10$	GCP

### **3.5. Sistema Global de navegación por satélite GNSS (Global Navigation Satellite System).**

Es el término usado para hacer referencia a todos los sistemas de navegación por satélite existentes en el planeta, (GPS, GLONASS, GALILEO, BEIDU, etc). Los cuales proveen cobertura global continua desde espacio dándoles posicionamiento tridimensional a los receptores GNSS, y así saber su ubicación; Estos satélites se conectan a un sistema de receptor, mandando señales a través de ondas de radio en código PRN (Pseudo Random Noise), las cuales viajan a la velocidad de la luz 300000 Km/s [31].

En la actualidad existen varios métodos de posicionamiento GNSS, los más conocidos son: el método estático usado en levantamientos geodésicos, y el método RTK (Real Time Kinematic), usada en la obtención de coordenadas de ubicación y replanteos con puntos conocidos [1].

#### **3.5.1. Medición estática.**

Es un método a través del cual se obtiene el posicionamiento de puntos geodésicos de alta precisión, todos los puntos de georreferenciación deberán asociarse a una red geodésica nacional en el caso del Ecuador los puntos se conectarán a las bases del IGM (Instituto geográfico militar) [4].

El Ecuador en conjunto con el Instituto Geográfico Militar, el cual es el organismo cartográfico del Ecuador, han creado un marco geodésico actualizado compatible con todas las técnicas de posicionamiento de los sistemas de satélites denominándolo REGME, el cual es el conjunto de estaciones de monitoreo para sistemas satelitales (GPS, GLONASS), la misma que estará enlazada a las redes nacionales GPS del Ecuador, y a la red continental

SIRGAS-CON, ,ofreciendo un monitoreo continuo para la toma de información (véase figura 31) [32].

Las precisiones más comunes que se pueden llegar a obtener mediante estos receptores GNSS, de doble frecuencia están alrededor de los siguientes valores [4]:

- Horizontal 3mm + 1ppm RMS;
- Vertical 3,5mm + 0,4 ppm RMS.

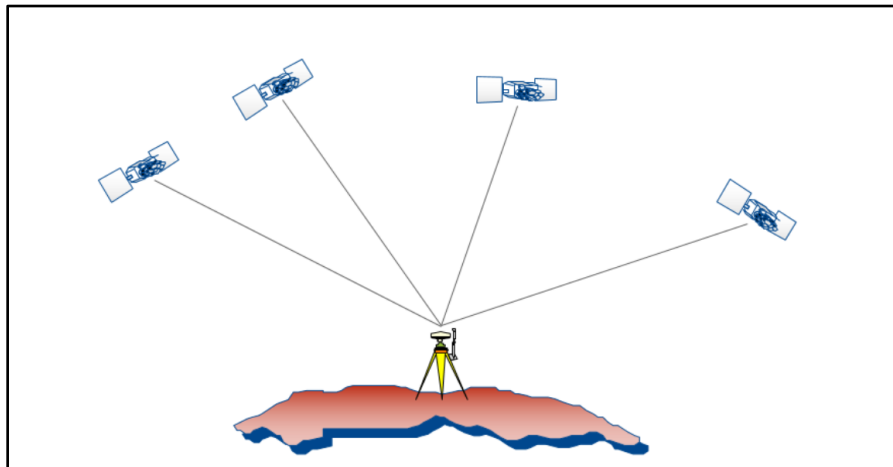


Figura 31 Método GNSS de posicionamiento estático Fuente [4]

### 3.5.2. Medición RTK (Real Time Kinematic).

Considerada como una navegación cinemática en tiempo real, es aquella metodología en la cual se usa un receptor GNSS como estación base y a su vez esta se conecta a otro receptor el cual será móvil y tomará las coordenadas en formato RTK, la estación base tendrá un punto de coordenadas conocidas para tener una precisión absoluta, la cual emitirá correcciones (TX) usando diferentes protocolos de transmisión como son: NTRIP, VSSR, COORS, multiestación, mono estación, señales de radio o bluetooth de largo alcance. Las correcciones son recibidas por receptores móviles, siendo procesadas instantáneamente y en tiempo real, dando como resultado posiciones relativas milimétricas en coordenadas este, norte y elevación (véase figura 32) [4].

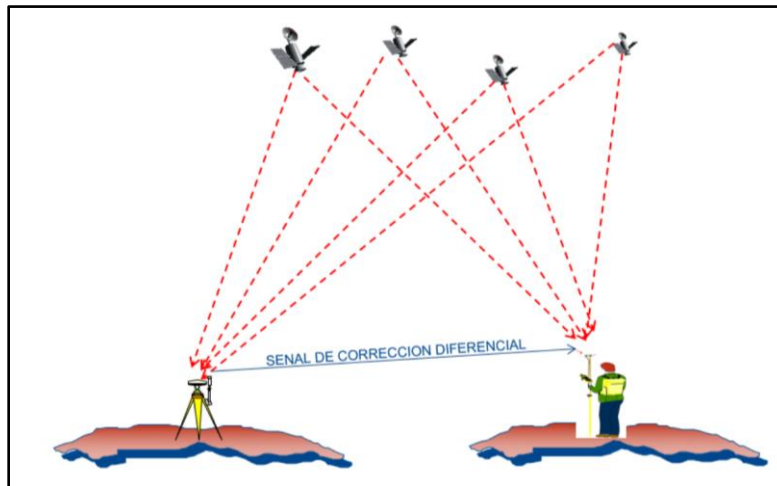


Figura 32 Método de posicionamiento GNSS modo RTK Fuente [4].

En el presente trabajo se consideró usar el método RTK, por su eficacia y rapidez a la hora de tomar una coordenada, en este caso se usó un equipo GNSS, marca Trimble modelo R6, la cual posee las siguientes características [33].

- Tecnología de rastreo de satélites Trimble R Track, proporcionando un levantamiento confiable y preciso;
- Tecnología Trimble R-Track con Signal Prediction™, compensando correcciones intermitentes o marginales en modo RTK;
- Chip Trimble Maxwell 6 con 220 canales;
- Posicionamiento GNSS con GPS L2C, L5 Y QZSS. Usando códigos más largos, facilitando el rastreo de señales débiles.

Las precisiones más comunes que se pueden llegar a obtener mediante este receptor GNSS en modo RTK, están alrededor de los siguientes valores [33]:

- Horizontal 8 mm + 0,5 ppm RMS;
- Vertical 15 mm + 0,5 ppm RMS;
- Tiempo de inicialización <8 segundos;
- Confiabilidad de inicialización >99.9%.

### 3.6. Tipos de Señales GNSS.

Existen 3 tipos de señales GNSS [31]:

- Datos de navegación;
- Código PRN;
- Onda Portadora.

Todos los satélites emiten señales CDMA con divisiones por códigos los mismos que ayudan a identificar al satélite que la emite, excepto los satélites pertenecientes a la constelación rusa “GLONASS” los cuales emiten señales FDMA que usan divisiones por frecuencia (véase tabla IV) [31].

Los satélites están ubicados a distancias de aproximadamente 22000 km de la superficie terrestre, sus señales de transmisión son de 30w de potencia, pero hay que tener en cuenta que al llegar al receptor esta señal reduce esta potencia a  $10^{-16}$  veces [31].

*Tabla IV Diferencias entre los tipos de señales satelitales Fuente [31].*

<b>TIPO</b>	<b>CDMA</b>	<b>FDMA</b>
<b>Código PRN</b>	Diferentes códigos PRN para cada satélite. Cada satélite es identificado mediante este código.	El mismo código para todos los satélites. Los satélites son identificados por la frecuencia central de cada uno.
<b>Frecuencia</b>	Una frecuencia para todos los satélites	Diferente frecuencia para cada satélite.
<b>Ventajas y Desventajas</b>	El diseño del receptor es más simple, ya que se tiene la base de datos y desde que satélite se emite la señal. Mas susceptible a interferencia	Diseño complejo por la cantidad de frecuencias a recibir. Menos susceptible a interferencia.

### **3.7. Código PRN (Pseudo Random Noise).**

Es una secuencia de 0 y 1, con longitudes de 1 milisegundo, el cual es emitido por un satélite véase figura 33, donde se muestra que en una longitud de 1ms existen 1023 secuencias entre 0 y 1. Cada satélite emite un único código PRN (véase figura 33) [31].

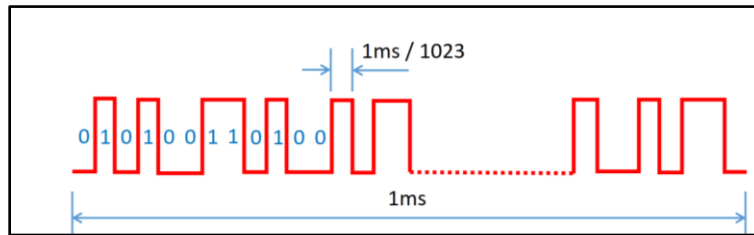


Figura 33 Secuencia de un código PRN **Fuente** [31].

### 3.8. Modulación.

Proceso a través del cual se convierte una señal de mensaje, transforma y envía a una larga distancia. Es decir un satélite envía un código binario 0 y 1, el mismo que puede ser modelado por amplitud o frecuencia, véase figura 34, donde se indica que los valores de 1 emiten mayor amplitud o frecuencia y los valores de 0 emiten menor amplitud o frecuencia, este código llega al receptor GNSS para ser descifrado (véase figura 34) [31].

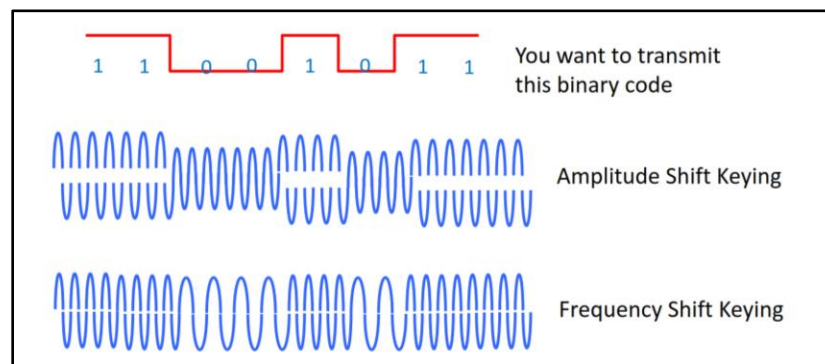


Figura 34 Tipo de señales de modulación **Fuente** [31].

### 3.9. Datos de navegación.

Son un flujo continuo de datos digitales emitidos a 50 bits por segundo, cada satélite emite a los usuarios información de su propia corrección de reloj y órbita (Ephemeris), su corrección orbital para los demás satélites (almanac) [31].

### 3.10. Colocación de un sistema GNSS en modo RTK (Base-Móvil).

Al colocar un sistema GNSS, la idea es colocar la base en la parte más alta del terreno, ya que este emite ondas de radio de larga distancia para conectarse al equipo móvil y evitar

que pierda señal, el receptor Rover será colocada sobre una base nivelante o bastón de manera que no se mueva evitando errores y desconexiones inoportunas.

Siempre es recomendable dejar a alguien que cuide la base Rover para que ningún objeto animal o persona le mueva, provocando que se pierda la señal de los satélites y presente un error en la precisión.

### **3.11. Como encender un receptor GNSS marca Trimble modelo R6.**

Únicamente se presiona el botón de encendido, nos mostrará una con una luz en color verde indicándonos que el equipo ya está arrancando (véase figura 35), se esperará unos segundos para que este cargue las señales de los satélites. Hay que observar que si la luz de encendido parpadea cada segundo es que la batería queda en menos de 10%.

#### **3.11.1. Botones presentes en el receptor**

**Led satélite.** - Cuando este parpadea es que está haciendo un seguimiento a los satélites.

**Led de datos.** - Cuando envía o recibe datos de otros dispositivos este comenzará a parpadear.

**Led wifi.** - Cuando este se enciende el led será de color verde.

**Led bluetooth.** – Este se encenderá en led color azul.



Figura 35 Encendida de un aparato GNSS **Fuente:** Elaboración Propia.

### **3.12. Configuración del modo RTK (Base-Móvil).**

Para colocar un equipo GNSS en modo RTK hay que diferenciar cual equipo será usado como base y cual será considerado como móvil, ya que la base será la encargada de conectarse a los satélites y emitir la señales al equipo móvil mediante diferentes métodos, en este caso será por ondas de radio de largo alcance.

El equipo considerado como base se colocará en el punto de control más elevado y desde ahí emitirá las señales mediante ondas de radio al equipo móvil, considerar que en esta técnica para la toma de coordenadas existirá un radio máximo el cual si es sobrepasado perderá conexión entre los 2 equipos.

El equipo base se conectará a la colectora mediante bluetooth, para ser configurado el proyecto, y de la misma manera se le conectará al equipo móvil, el cual será el encargado de tomar todas las coordenadas en cada una de las marcas dejadas en el terreno (véase figura 36).



Figura 36 Equipo GNSS, marca Trimble modelo R6 **Fuente:** Elaboración Propia.

Antes de configurar los equipos, considerar que serán colocados sobre un trípode o bastones con una base nivelante asegurándonos que estos no se muevan, y así evitar errores que puedan alterar el proyecto (véase figura 37 y 38).



Figura 37 GCP colocados sobre el terreno **Fuente:** Elaboración Propia.



Figura 38 Ubicación sobre los puntos de control con el equipo móvil para la toma de datos **Fuente:** Elaboración Propia.

Es muy importante siempre medir la altura del equipo, esto se realizará con una cinta o metro, colocándolo desde el suelo hasta la mitad de la cabeza del equipo que generalmente tendrá una marca o línea de indicación (véase figura 39).



Figura 39 Indicaciones para medir la altura del equipo **Fuente:** Elaboración Propia.

Para tomar los datos se usó una colectora marca Trimble, modelo TCS3 la cual incorpora el software Trimble Access. Encargada de tomar todos los datos emitidos por el equipo GNSS, y a su vez corregir las coordenadas tomadas automáticamente mostrándonos valores de precisiones centimetradas que tendrá ese punto.

La colectora, además nos mostrará un mensaje de advertencia cuando existe un valor alto de error, dándonos la posibilidad de tomar nuevamente el punto.

Muy importante antes de tomar un punto revisar la cantidad de satélites a los que está conectado el equipo mientras más satélites estén disponibles mayor será la precisión a obtener, considerar un mínimo de 7 satélites conectados antes de tomar la coordenada (véase figura 40).

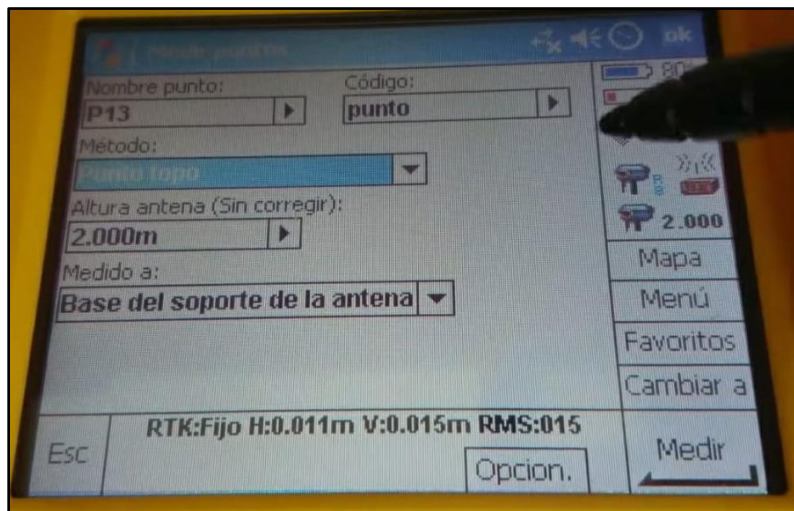


Figura 40 Toma de puntos mediante la colectora Trimble TCS3 **Fuente:** Elaboración Propia.

### 3.13. Fuentes de error en dispositivos GNSS.

Existen diferentes fuentes de error en dispositivos GNSS, algunas de las cuales son [4]:

- Efectos de propagación de señal;
- Efecto multipath de trayectoria;
- Retraso atmosférico;
- Efecto de la ionósfera y tropósfera;
- Ruido de señal;

- Desplazamiento de las placas tectónicas;
- Orbitas no modeladas de los satélites;
- Cantidad de satélites visibles;
- Geometría de los satélites;
- Campos electromagnéticos;
- Mala aplomacion del equipo.

### **3.14. Consideraciones para el plan de vuelo.**

Antes de realizar cualquier plan de vuelo hay que considerar la geomorfología irregular que puede presentar el terreno, y teniendo en cuenta este parámetro se deberá examinar los 3 diferentes tipos de vuelo que se pueden realizar (véase figura 41) [4]:

- Realizarlo a una altura constante sin considerar el relieve del terreno, aquí tendremos un GSD variable, ya que existirán zonas donde la altura será mayor por la diferencia de niveles en el terreno, y como consecuencia las precisiones serán diferentes, es decir mientras menos distancia entre el dron y el relieve habrá más precisión y a más distancia menor precisión [4].
- Realizar varios planes de vuelo a diferentes alturas sobre el terreno de manera escalonada, considerando que las líneas de vuelo serán perpendiculares a la pendiente, y sus traslapes serán del 70% o superiores, los diferentes planes de vuelo se unirán entre ellos y mantendrán un GSD casi homogéneo porque no existirá gran diferencia de alturas entre ellos [4].
- En este tipo de vuelo el dron volara en función del relieve de la zona, manteniendo un GSD constante, por lo que este método es el más idóneo para realizar fotogrametría ya que las precisiones serán uniformes y en consecuencia se obtendrá un buen resultado; pero hay que considerar que algunos programas obtienen una información errónea del verdadero relieve de la zona y pueda ocasionar que el dron se eleve más de lo planeado y se obtenga un GSD demasiado alto [4].

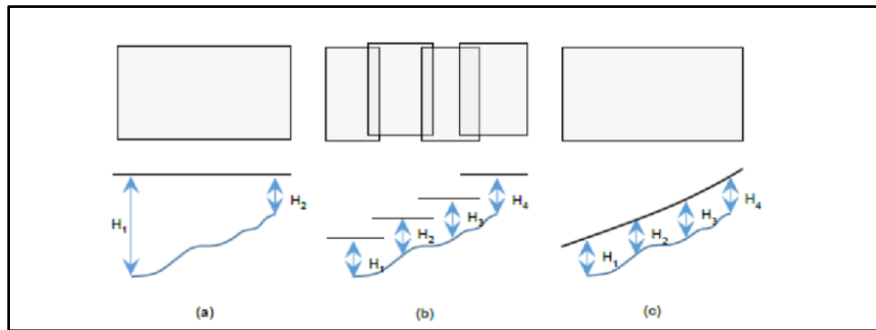


Figura 41 Diferentes planificaciones de vuelo para terrenos con variaciones de relieves **Fuente** [4]

Debido a que el presente proyecto posee un relieve muy irregular se considerará hacer varios planes de vuelo a diferentes alturas sobre el terreno ya que existe un desnivel demasiado elevado y con esta metodología se podrá mantener un GSD casi homogéneo y no tendrá una gran variación.

Antes de planificar un vuelo fotogramétrico hay que definir ciertos parámetros como son traslape, altura de vuelo y la resolución de imagen (GSD).

Para ello utilizaremos el Software Pix4Dcapture, el cual nos permitirá planificar el vuelo de la mejor manera posible, este programa nos indicará la cantidad de líneas de vuelo a realizar, cantidad de fotografías a tomar, el traslape tanto lateral y horizontal, GSD, altura de vuelo, ángulo de inclinación de la cámara; entre otras.

### 3.15. Procedimiento para realizar una planificación de vuelo.

- Ubicar el terreno mediante coordenadas UTM WGS-84 zona 17S, en el software Google Earth, la zona dependerá del lugar en el que nos encontremos, estas coordenadas pueden ser tomadas en el sitio o sacadas de internet.
- Identificar el tamaño aproximado del terreno y trazar un polígono en Google Earth considerando que este polígono será un poco más grande de lo que mide el terreno para evitar pérdida de información en los bordes del terreno de interés (véase figura 42).



Figura 42 Polígono de vuelo creado mediante Google Earth **Fuente:** Elaboración Propia.

- En el caso que sea un solo polígono de vuelo exportarlo, caso contrario dividir el polígono en áreas más pequeñas según el caso y el relieve lo requiera (véase figura 43).

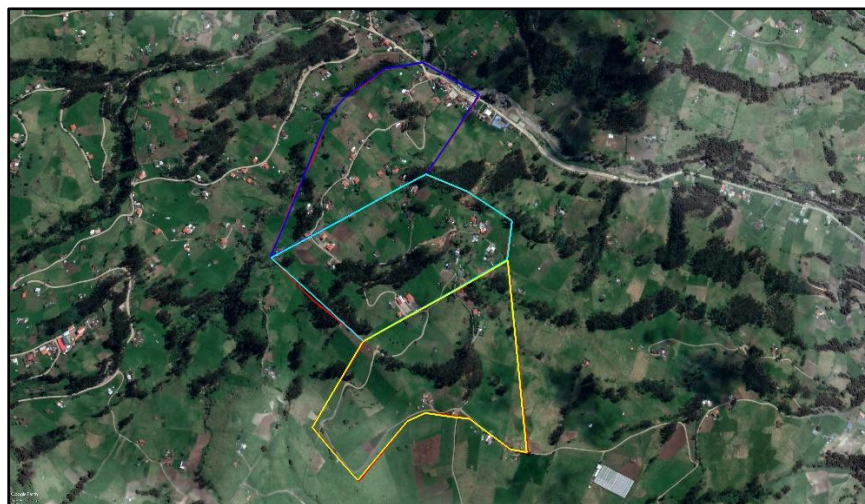


Figura 43 Polígonos de vuelo creados mediante Google Earth **Fuente:** Elaboración Propia.

- Ubicar los puntos de control dentro del polígono según las indicaciones escritas en líneas anteriores (véase figura 44).



Figura 44 Ubicación de los puntos de control **Fuente:** Elaboración Propia.

- Exportar el o los polígonos en formato KML.
- Instalar la aplicación Pix4Dcapture la cual está disponible en las plataformas de android y apple, la misma que nos ayudará a realizar de mejor manera nuestro plan de vuelo.
- Crearse una cuenta en Pix4Dcapture si es que aún no la tienen, o simplemente iniciar sesión (véase figura 45).

Figura 45 Registro de la aplicación Pix4Dmapper **Fuente:** Elaboración Propia.

- Una vez ingresada a la aplicación se seleccionará la opción “Project list”, dar clic en la opción con el símbolo +, y asignar un nombre al nuevo proyecto (véase figura 46).

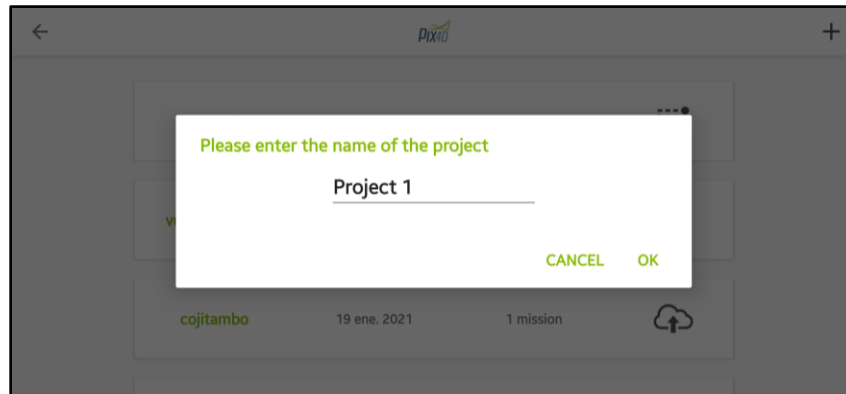


Figura 46 Pasos para crear un nuevo proyecto en la aplicación Pix4Dmapper **Fuente:** Elaboración Propia.

- Para importar el archivo kml elaborado mediante Google Earth, clic en los 3 puntos ubicados en el lateral superior derecho de la aplicación, seleccionar la opción “Load KML”, y proceder a buscar la ubicación donde se guardó el archivo y cargarlo.
- Se cargará el archivo KML mostrando el polígono de vuelo, a continuación, se seleccionará la opción + ubicada en la parte central media de la pantalla, nos aparecerán varias opciones y se elegirá la primera “POLYGON MISSION”. La misma que nos mostrará el polígono importado, el cual nos servirá de delimitación para poder crear nuestro polígono de vuelo en función a las marcas del polígono importado (véase figura 47 y 48).
- Considerar que, en el polígono de vuelo se debe planificar para que comience en el punto más alejado y termine en un punto cercano al puesto de aterrizaje, para prevenir fallos por baterías bajas.

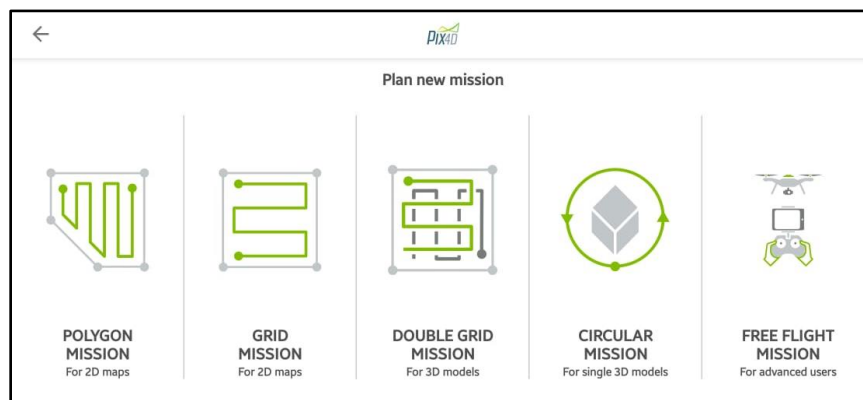


Figura 47 Opciones de planes de vuelo que ofrece Pix4Dcapture **Fuente:** Elaboración Propia.



Figura 48 Polígono de vuelo creado en base al archivo kml importado **Fuente:** Elaboración Propia.

- Una vez creado el polígono, se procederá a definir altura de vuelo en función al GSD deseado, para esto nos apoyaremos también con una hoja de cálculo del software “Pix4D”, la cual nos pedirá la información de ciertos parámetros de la cámara como son: ancho del sensor, distancia focal, altura de vuelo a considerar, ancho y alto de imagen, dichos parámetros variarán en función al tipo de cámara que incorporará el dron y así poder calcular el GSD requerido (véase figura 49).

**GROUND SAMPLING DISTANCE CALCULATOR**

**Instructions**

1. Enter the Sensor Width (millimeters) in cell C14
2. Enter the Focal Length (millimeters) in cell C15 (real focal length, not 35 mm equivalent)
3. Enter the Flight Height (meters) in cell C16
4. Enter the Image Width (pixels) in cell C17
5. [Optional] Enter the Image Height (pixels) in cell C18
6. Hit Enter

**Calculator**

Sw	11.4074	= the sensor width of the camera (millimeters)
Fx	8.600	= the focal length of the camera (millimeters)
H	90	= the flight height (meters)
ImW	4864	= the image width (pixels)
ImH	3648	= the image height (pixels)
GSD	2.45	= Ground Sampling Distance (centimeters/pixel)
Dw	119	= width of single image footprint on the ground (meters)
DH	90	= height of single image footprint on the ground (meters)

Dw = The footprint width / distance covered on the ground by one image in width direction

[www.pix4d.com](http://www.pix4d.com)

Figura 49 Calculadora de GSD creada por Pix4D **Fuente:** Elaboración Propia.

- Para definir el overlap o traslape a usar se deberá considerar que mientras mayor sea el traslape entre imágenes, se obtendrá una mayor cantidad de puntos en común entre fotografías mejorando nuestro modelo; pero se deberá considerar que mientras mayor sea el traslape existirán más líneas de vuelo, aumentará la duración del vuelo y el

número de imágenes a tomar; la recomendación es que este valor no sea menor a 75% en el frontal y 65% en el lateral; Traslapes muy bajos presentarán una información mala teniendo una cantidad muy reducida de píxeles entre foto y foto para una comparación de puntos en común.

- Considerar que valores de traslapes demasiado altos puede generar errores al momento de procesar la información, ya que el software puede confundirse por el número de similitudes presentes entre píxeles, además exigirá una mayor potencia del hardware.
- Definir la velocidad crucero con la que se realizará el vuelo, esta podrá variar desde lenta a rápida dependiendo del tipo de sensor que tiene el drone, por lo general usar una velocidad alta ya que los equipos están diseñados para trabajar a su máxima potencia, en condiciones de poca luz se recomienda usar una velocidad lenta para que no se pierda detalle en las fotografías o existan errores de píxeles.
- Definir el ángulo de inclinación de la cámara, este dependerá de los requerimientos del proyecto y presencia de estructuras que requieran gran detalle al momento de generar la nube de puntos, por lo general en fotogrametría se usarán vuelos ortogonales al terreno.
- El tiempo de vuelo se mostrará en la parte inferior de la aplicación y este dependerá del tamaño del terreno conjuntamente con los parámetros antes mencionados (véase figura 50).



Figura 50 Consideraciones a revisar al momento de realizar el plan de vuelo **Fuente:** Elaboración Propia.

- Una vez realizado el plan de vuelo este se guardará y podrá ser observable y editable desde celulares inteligentes o tabletas, mediante la aplicación que puede ser descargada en la tienda de play store o apple store.

### **3.16. Chequeo de parámetros en campo antes de realizar el plan de vuelo.**

- Verificaciones de las condiciones del clima.
- Verificación de la dirección del viento.
- Verificaciones de temperatura.
- Verificar las ubicaciones de los puntos de control, comprobando si el lugar a colocarlos sea adecuado y no se puedan tener errores.
- Ubicación de los puntos destinados al despegue y aterrizaje de la aeronave.
- Verificación mediante la aplicación “UAV Forecast” si es seguro volar la aeronave.
- Considerar las condiciones de luz existentes, ya que la existencia de poca luz puede provocar que las fotos salgan borrosas.

### **3.17. Chequeo de parámetros en campo del dron antes del vuelo.**

- Verificación que se encuentren cargadas las baterías y el control de la aeronave.
- Verificar que la tarjeta SD este insertada.
- Colocación de las hélices y verificar que estén bien aseguradas.
- Al momento de encender el dron entrar en la aplicación “DJI GO 4” y establecer como punto de origen el lugar donde se encuentra, para así asegurar que si el dron pierde señal intentará regresar a al punto de despegue.
- Verificar que el lugar de despegue y aterrizaje no presente superficie con mucho polvo ya que este puede ingresar en los motores del equipo y ocasionar fallos en ellos.
- Verificación de calibraciones de brújula, gimbal y funcionamiento de sensores.
- Verificación de altura y distancia máxima establecida, ya que puede generar errores en planes de vuelos donde la distancia es mayor a la establecida haciendo que la aeronave nos despegue y de error.
- Verificación de la conexión del dron a los satélites.
- Verificación de la señal de video y orientación de las antenas.

Se recomienda hacer una hoja de chequeo para facilitar todos estos parámetros, véase anexo 2, la cual nos ayudará a revisar todos los parámetros de verificación antes del vuelo.

Verificados todos estos parámetros se procederá a entrar en la aplicación pix4Dcapture, y cargar el polígono anteriormente creado, nos mostrará nuestro plan de vuelo conjuntamente con la ubicación del dron en el mapa (véase figura 51).

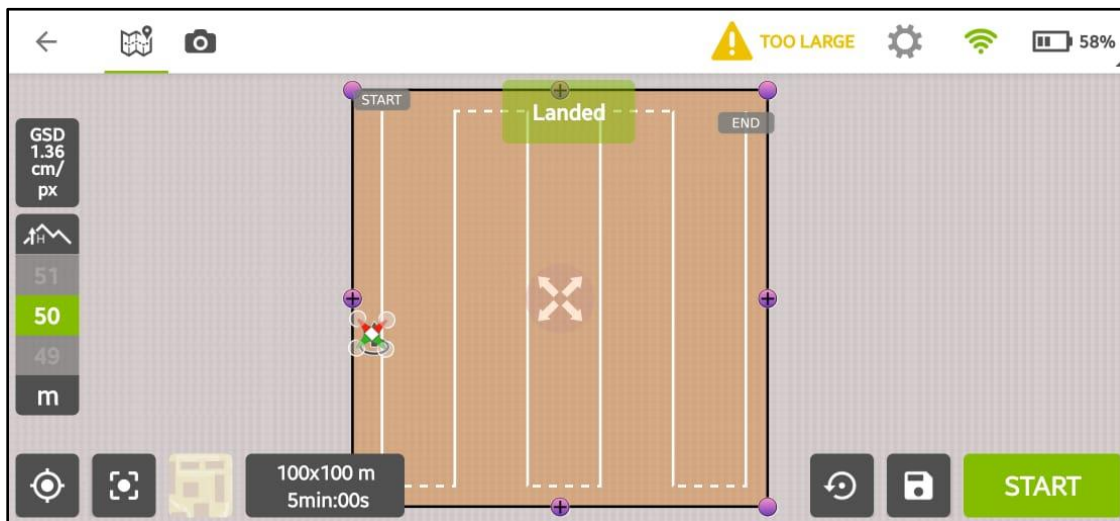


Figura 51 Polígono de vuelo creado mediante la aplicación pix2dcapture **Fuente:** Elaboración Propia.

Verificado el polígono de vuelo se procederá a seleccionar el botón “Start”, nos mostrará una ventana con opciones donde se deberá esperar que todos los parámetros sean correctos y comenzar el vuelo.

### 3.18. Chequeo de parámetros en campo del dron durante el vuelo.

- Nivel de batería y potencia de las mismas.
- Altura de la aeronave.
- Velocidad de los motores.
- Distancia en la que se encuentra.
- Calidad de transmisión de video.
- Calidad de conexión del dron al control.
- Número de satélites que se encuentran conectados.

- Distancia al punto de aterrizaje en función al nivel de batería que tenga el dron en ese momento.
- Durante el vuelo siempre hay que tener contacto visual con el dron y el control remoto, por si se presenta algún fallo que pueda hacer que el equipo caiga (véase figura 52).
- El equipo volará automáticamente, pero si surge algún inconveniente el piloto puede tomar control del equipo y evitar algún accidente, el mismo que será responsable de realizar maniobras peligrosas y poco seguras dependiendo del lugar donde se encuentre.



Figura 52 Plan de vuelo realizado mediante pix4Dcapture **Fuente:** Elaboración Propia.

**Nota:** Se puede observar en la figura 52, que cada vez que el dron cubre una línea de vuelo este va tomando fotografías que luego serán procesadas mediante un software especializado.

### 3.19. Chequeos de parámetros en campo después de realizar el vuelo del dron.

- Verificar que las imágenes fueron tomadas.
- Verificar la calidad de las imágenes.

### **3.20. Precisión absoluta y relativa.**

La precisión es el parámetro más necesario que debe tener nuestro proyecto, para que este sea considerado válido a nivel profesional, es por ello que analizaremos los 2 tipos de precisiones que existen dentro de la fotogrametría.

#### **3.20.1. Precisión relativa.**

Es aquella precisión que se muestra a través de la comparación de características en una reconstrucción de imágenes; es decir si un techo de una casa mide 5 metros en la vida real, y este techo mide lo mismo en la reconstrucción de imágenes se puede hablar que existe una alta precisión relativa [16].

#### **3.20.2. Precisión absoluta.**

Es la precisión que se obtiene en función a la posición real del objeto en el planeta, es decir si un objeto no es encuentra en el lugar correcto del mapa base, su precisión es mala incluso si la precisión relativa es buena [16].

Es por ello que es la recomendación de usar sistemas GNSS RTK PPK, así como una correcta altura de vuelo en función al tipo de trabajo a presentar y obtener una buena precisión absoluta como relativa.

## **4. CAPÍTULO IV METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN PARA PROCESO Y POST-PROCESO EN GABINETE.**

### **4.1. Post-Proceso de Imágenes mediante el software Pix4Dmapper.**

En este capítulo analizaremos como se realiza un correcto procesamiento de las imágenes tomadas mediante el RPA; lo cual es posible realizarlo con una variedad de programas orientados a esta rama de la fotogrametría; pero nosotros nos enfocaremos en el software Pix4D Mapper, el cual nos permitirá crear nubes de puntos con gran detalle la cuales tendrán coordenadas x, y, z, un modelo digital del terreno, una ortofoto con gran calidad y precisión y lo más importante una visualización 3D del terreno [4].

### **4.2. Verificación de las imágenes tomadas y sistema de coordenadas usadas mediante la aplicación pix4Dmapper.**

El primer paso dentro del procesamiento de las imágenes es crear una carpeta de trabajo, dentro de ella crear subcarpetas para colocar las fotos y los puntos de control tomados.

Teniendo esto ingresar en la aplicación Pix4dmapper, la cual mostrará una interfaz amigable y fácil de usar; para crear un nuevo proyecto basta simplemente con seleccionar la opción “New Project”, se nos abrirá una pestana en la que se colocará el nombre del proyecto, así mismo se le asignará el lugar donde será guardado y es ahí donde se ubicará la carpeta creada con toda información necesaria y lo más importante manteniendo un orden para evitar la pérdida de información y tiempo en buscar la misma dentro del computador (véase figura 53 y 54).

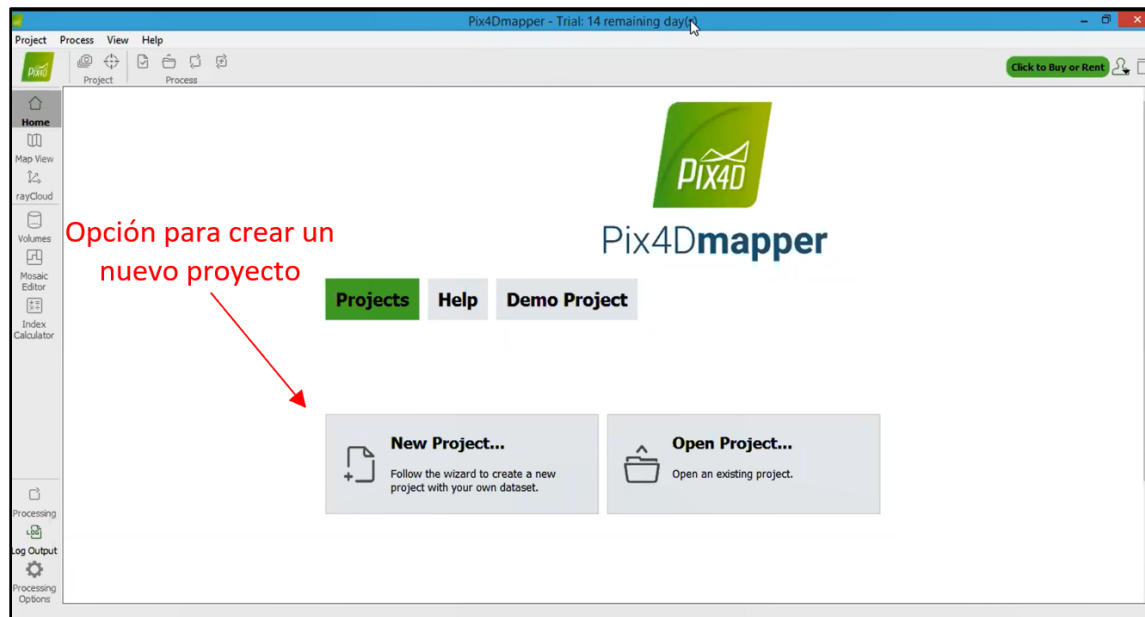


Figura 53 Interfase de la aplicación Pix4dmapper **Fuente:** Elaboración Propia.

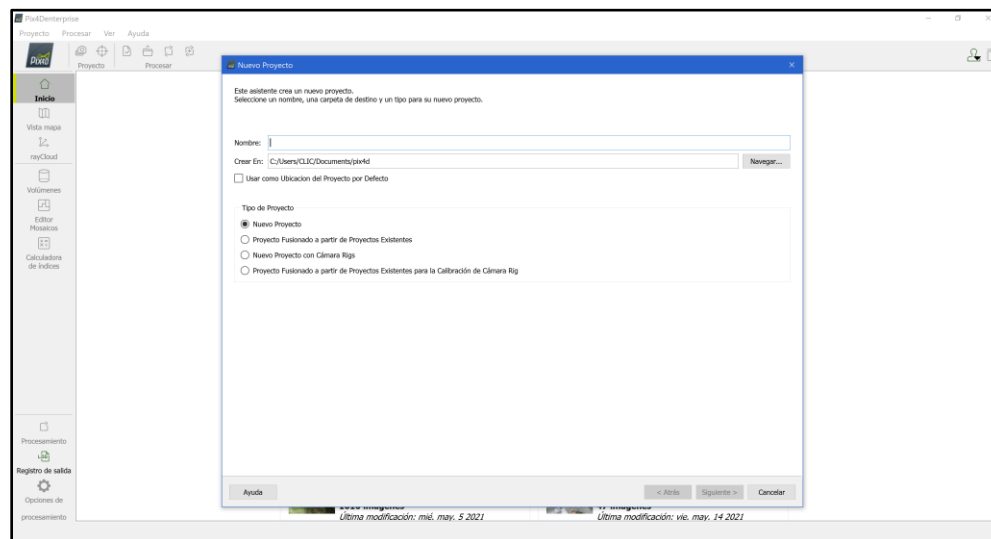


Figura 54 Opciones para la creación de un nuevo proyecto **Fuente:** Elaboración Propia.

Una vez seleccionado el nombre del proyecto y la ubicación del mismo se procederá a agregar las imágenes capturadas mediante el dron, para esto se seleccionará la opción añadir imágenes mostrándonos la carpeta creada, se ingresará a la ubicación de las fotografías, se cargarán en el programa y posteriormente seleccionaremos la opción siguiente (véase figura 55 y 56).

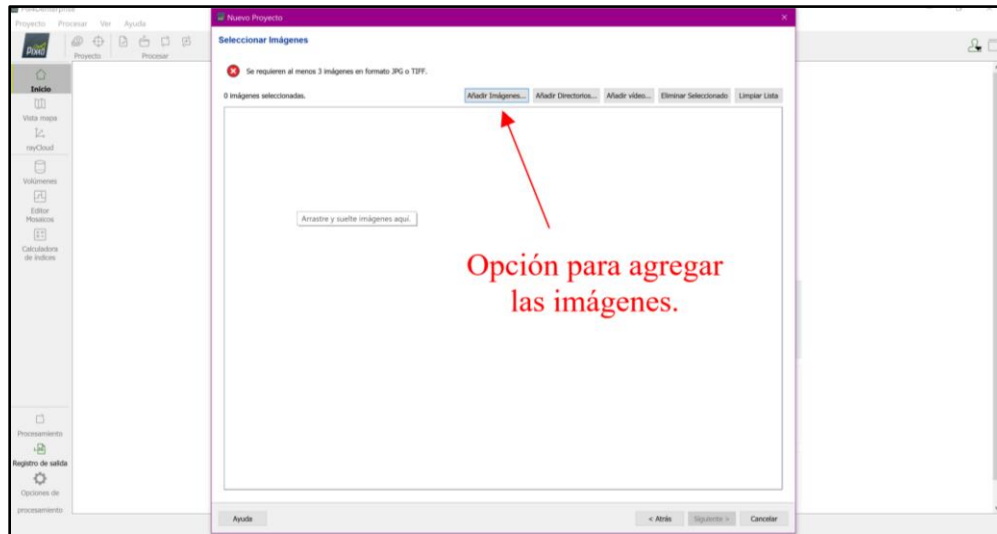


Figura 55 Proceso para seleccionar imágenes en el programa Pix4Dmapper **Fuente:** Elaboración Propia.

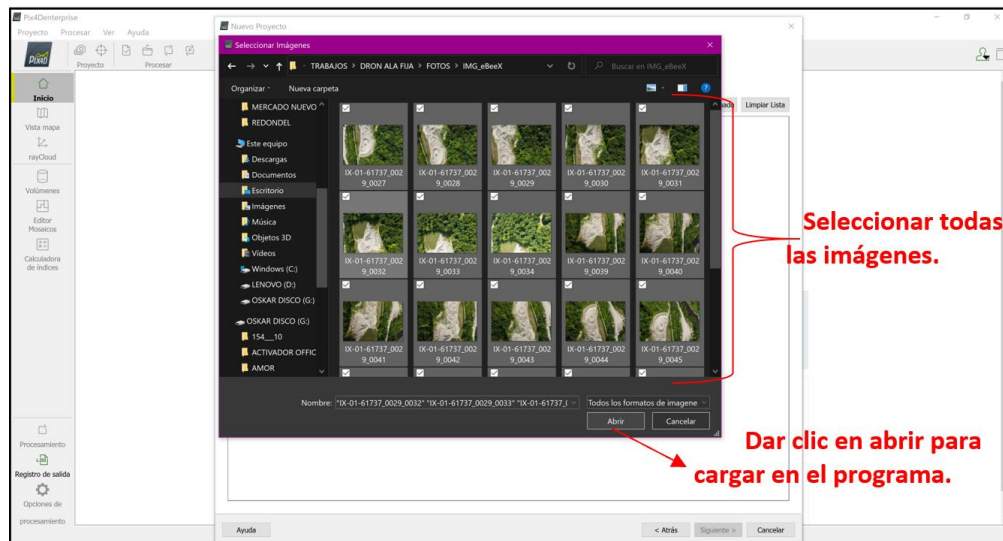


Figura 56 Proceso para seleccionar imágenes en el programa Pix4Dmapper **Fuente:** Elaboración Propia.

A continuación, aparecerá una ventana, la cual mostrará cierta información como: la geolocalización de la imagen, el sistema de coordenadas que presentan esas fotografías, asimismo mostrará cuantas de ellas presentan geolocalización es decir latitud, longitud y altitud (véase figura 58).

La opción de precisión de localización la marcaremos como estándar, ya que los drones de la marca DJI de gama baja a media no guardan con que precisión tomaron las fotografías, es por ellos que se le asigna un valor aproximado de 5 metros para horizontal y

de 10 metros para vertical a cada fotografía; cabe recalcar que esto es un dato inicial mas no la precisión que tendrá el proyecto eso se determinará más adelante según se va realizando el procedimiento.

El software reconocerá automáticamente el modelo de cámara que se usó de acuerdo al tipo de drone empleado, gracias a que el programa tiene registrado en su base de datos casi todas las cámaras de la marca DJI, habrá veces que el programa no reconocerá el modelo de cámara usada, debiéndose principalmente al usó una cámara poco comercial o conocida; si este es el caso el usuario deberá crear su propio modelo de cámara, ya que esta información es importante porque el software toma este dato para realizar un correcto del trazado de rayos.

Omega, Phi, y Kappa corresponden a los valores de la rotación de la imagen tanto en x, y, z. la idea de estos ángulos es hacer que la cámara coincida con los sistemas geográficos, el cual será un valor único para cada fotografía indicándonos la posición de la cámara y como va a ser la proyección de rayos (véase figura 57).

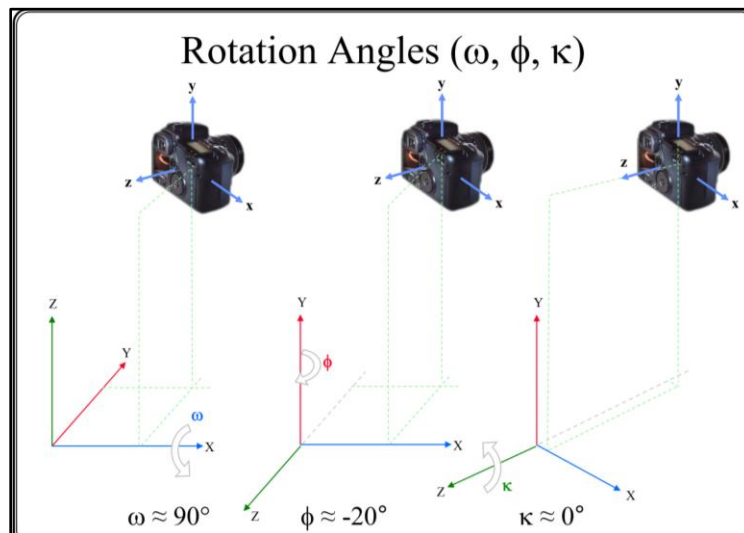


Figura 57 Indicación de la rotación de ángulos Omega, Phi y Kappa con respecto a una fotografía **Fuente**

[34].

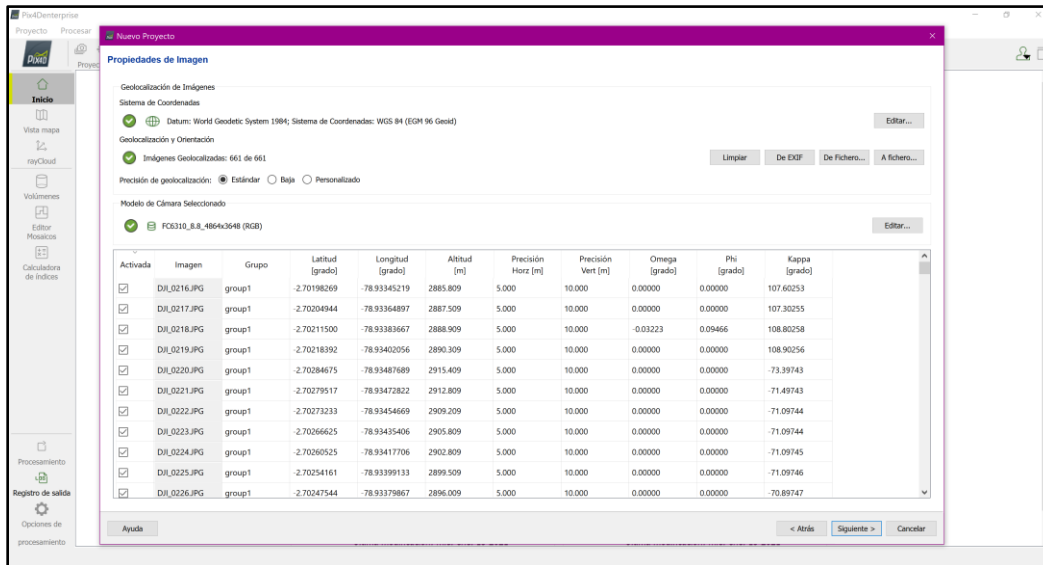


Figura 58 Diferentes propiedades de las imágenes mostradas con la aplicación Pix4Dmapper **Fuente:** Elaboración Propia.

Para conocer a más profundidad las características de la cámara que se está usando, ir a la opción “modelo de cámara seleccionado”, en su parte derecha existe una opción de editar, al darle clic nos mostrará todos los parámetros que tiene la cámara donde podremos editarlas, solamente se recomienda hacer esto si la cámara tiene alguna modificación, de no ser el caso dejar todo por defecto.

Un dato importante de esta pestaña es que brinda la información necesaria para poder saber el valor del GSD calculado mediante la hoja de Excel vista anteriormente, ya que aquí nos mostrará cuál es su distancia focal, ancho del sensor, ancho y alto de pixeles que tiene la cámara (véase figura 59).

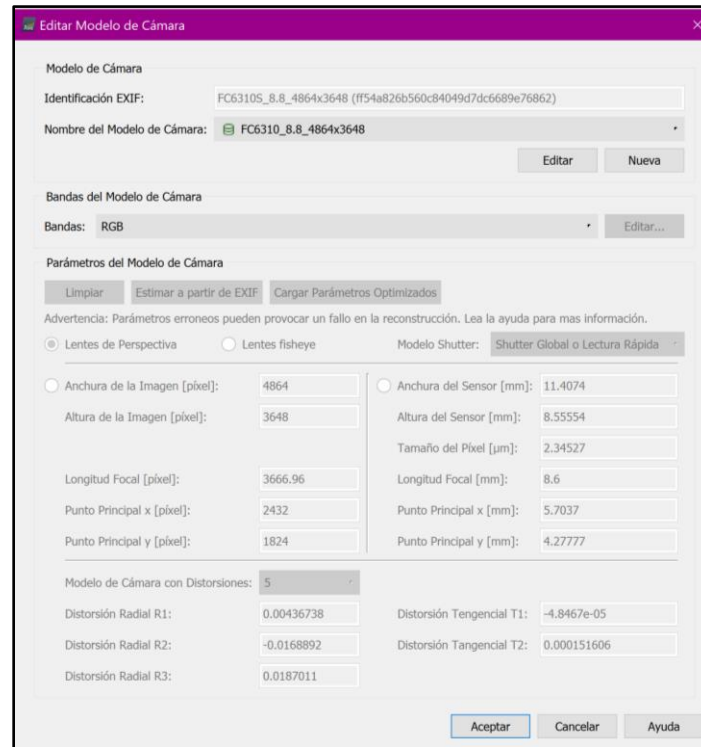


Figura 59 Ventada de edición de modelo de cámara presente en la aplicación pix4Dmapper **Fuente:**  
Elaboración Propia.

Revisados todos estos parámetros se procederá a dar clic en la opción siguiente donde se nos abrirá una nueva ventana, mostrándonos el tipo de coordenadas de salida, que tendrá nuestros productos finales como es la nube de puntos densa ortofoto, DEM, curvas de nivel, malla es decir todo.

Es entonces necesario saber que el programa usa por defecto el datum, WGS-84 (World geodetic system), con proyección UTM, donde la zona dependerá del lugar de ubicación que tenga el terreno en estudio en nuestro caso sería “UTM zona 17s”.

En el caso de que sea necesario usar otro sistema de coordenadas, se deberá marcar opciones avanzadas e ingresar el tipo de coordenadas a usar, caso contrario dejar todo por defecto y dar en la opción siguiente (véase figura 60).

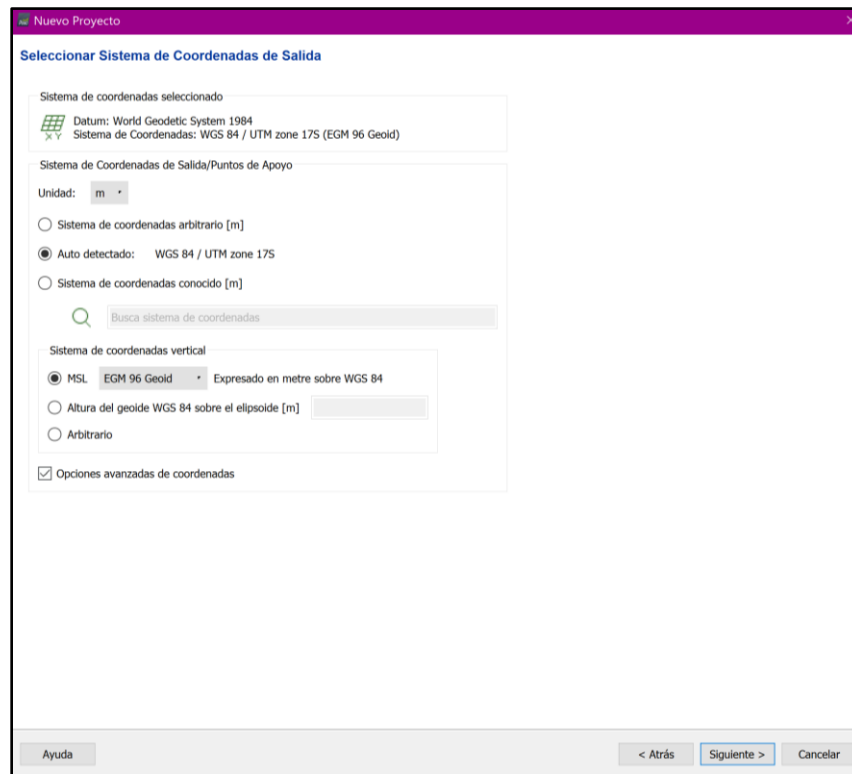


Figura 60 Tipo de sistemas de coordenadas de salida que da el programa pix4Dmapper **Fuente:** Elaboración Propia.

En la siguiente ventana nos mostrará las diferentes plantillas de procesamiento que el programa ofrece según las necesidades que se requiera, en este caso usaremos la plantilla de “3D maps”, donde en la parte derecha nos indicará las opciones que ofrece esta plantilla y las recomendaciones para un buen procesamiento, como es la toma de imágenes usando un plan de vuelo que tenga un buen traslape y las imágenes tomadas tipo nadir es decir con la cámara orientadas hacia abajo mostrando el terreno.

Una vez seleccionada la plantilla verificar que no esté marcada la opción iniciar procesamiento ahora y dar clic en finalizar (véase figura 61).

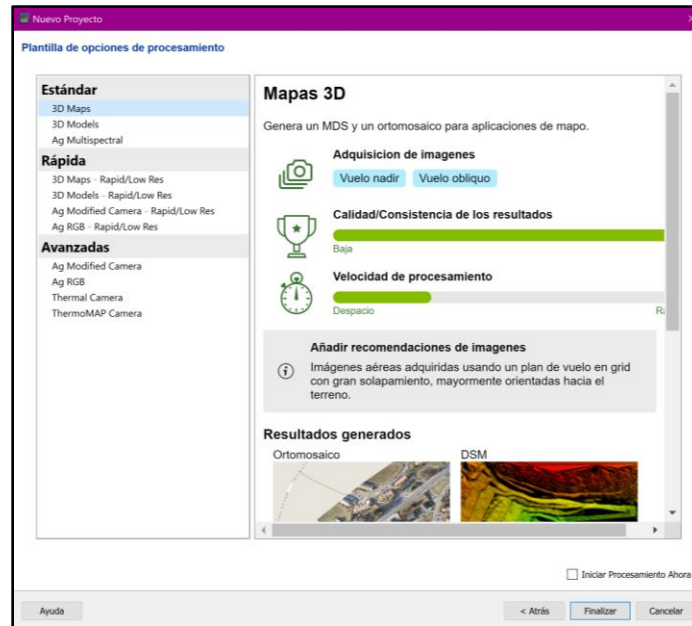


Figura 61 Tipo de plantillas de procesamiento que ofrece el programa pix4Dmapper **Fuente:** Elaboración Propia.

Nos mostrará una vista de mapa 2D, indicándonos el plan de vuelo conjuntamente con las fotografías tomadas representadas con círculos en color rojo, ahí existirá un círculo más grande el cual significa que desde ahí se comenzó a volar el equipo (véase figura 62), las líneas en color verde (véase figura 63) indicarán la trayectoria que siguió el dron al momento que realizó el plan de vuelo.

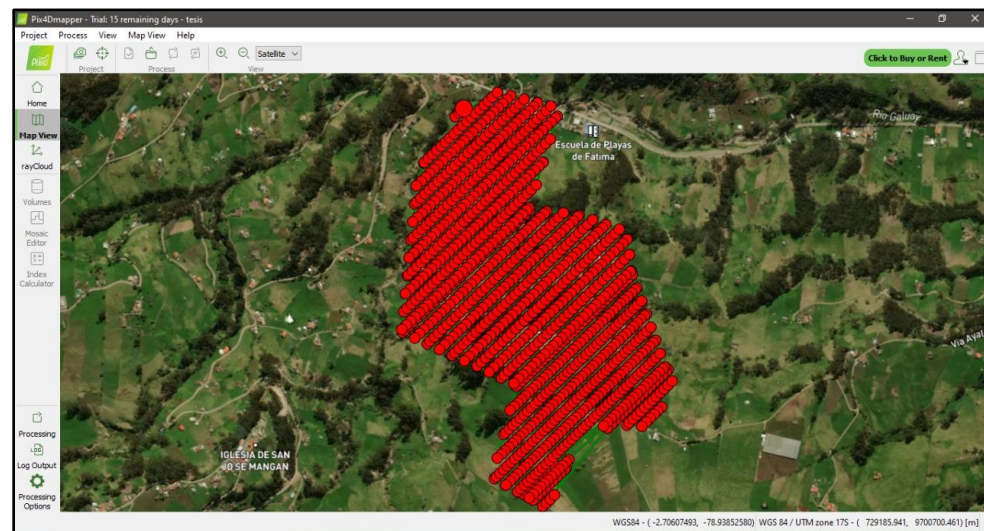


Figura 62 Vista de mapa creado a través de la aplicación pix4Dmapper **Fuente:** Elaboración Propia.

Dando un clic izquierdo en cada uno de los puntos nos mostrará la fotografía correspondiente al mismo, el cual nos servirá de ayuda para una pequeña revisión de las imágenes cargadas.

Al dar clic en la opción “procesamiento” ubicado en la zona izquierda inferior (véase figura 63) nos mostrará las diferentes opciones que habrá que realizarse para obtener los productos finales de fotogrametría, como son:

- Procesamiento inicial.
- Nube de puntos y malla.
- MDS, Ortomosaico e índices.

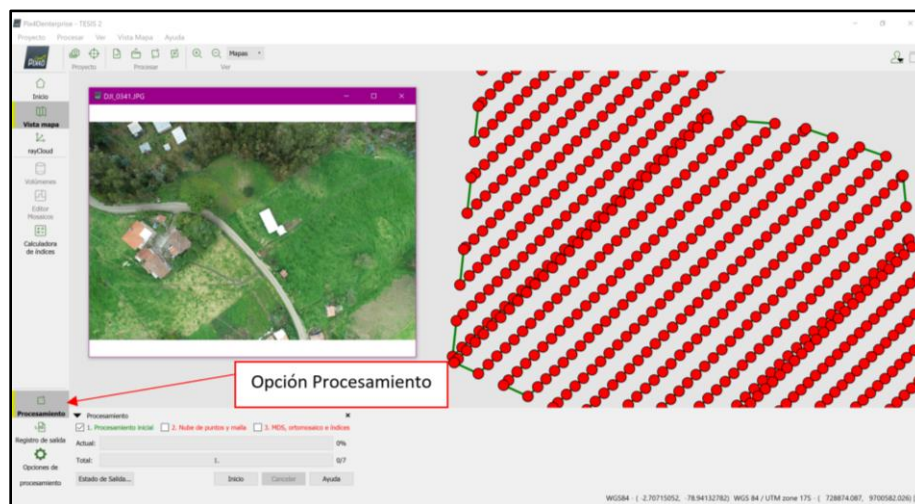


Figura 63 Ubicación de la opción procesamiento en el software **Fuente:** Elaboración Propia.

### 4.3. Procesamiento Inicial.

Para acceder a las opciones de procesamiento inicial daremos clic en “opciones de procesamiento” nos mostrará una ventana con los tres pasos a seguir en donde seleccionaremos solamente el paso número uno denominado procesamiento inicial.

La opción procesamiento inicial, se subdivide en tres pestañas con opciones las cuales son:

- General.
- Emparejamiento.
- Calibración.

La primera pestaña denominada “general” tiene diferentes opciones, como es la escala de imagen para puntos clave, los que nos permite esta opción es modificar el tamaño de la fotografía es decir si usamos la opción completa tomará la fotografía original, pero si tomamos la opción rápida o personalizada reducirá la calidad de los megapíxeles según sea la opción que seleccione.

Mientras más baja sea la resolución de los pixeles más rápido procesará el programa, pero se sacrificará parte de la resolución de la misma, lo que puede influir directamente en la ubicación de puntos clave que generalmente son objetos marcados que pertenecen a la imagen y si existe una baja calidad de megapíxeles estos son más difíciles de identificar en la imagen afectando el trazado de rayos, el cual busca puntos en común entre las imágenes al momento de unir las mismas.

También marcar la opción generar informe de calidad para poder revisar que calidad van a tener nuestros productos de fotogrametría, cabe recalcar que en este procesamiento inicial se recomienda hacerlo con la opción rápido ya que aún nos falta ingresar los puntos de control y nos tocará realizar este paso nuevamente.

Los puntos de control ayudarán a corregir parámetros externos de las imágenes como son: posiciones desde el centro de perspectiva como orientaciones de las fotografías y ángulos ( $\omega$ ,  $\phi$  y  $\kappa$ ) (véase figura 64).

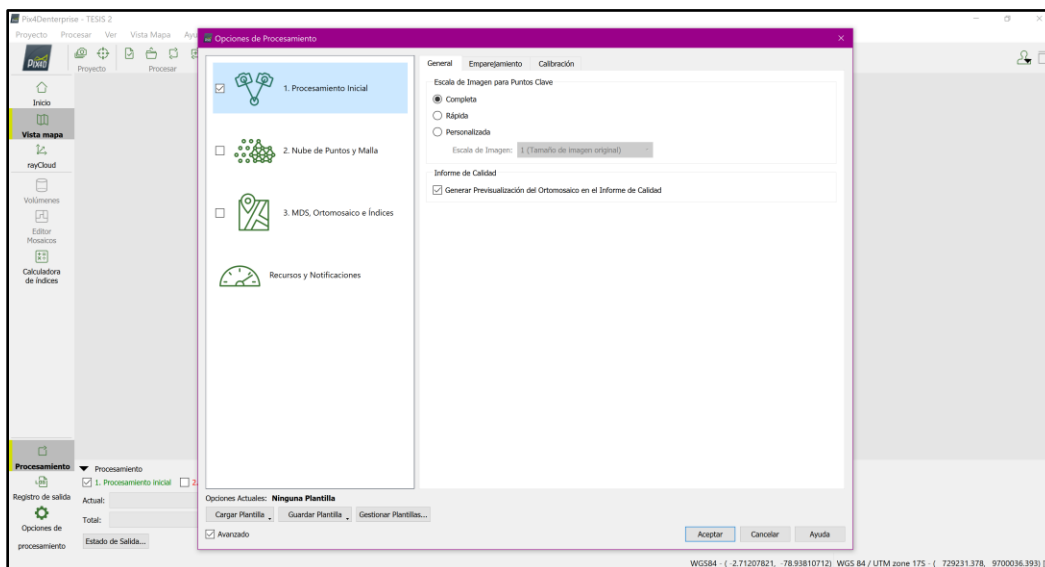


Figura 64 Opciones de calibración dadas por el programa pix4dmapper **Fuente:** *Elaboración Propia.*

La siguiente pestaña denominada emparejamiento nos hablará de como las imágenes se agruparán entre si buscando puntos en común entre ellas para generar el modelo 3D, aquí se seleccionará la primera opción de emparejamiento llamada “Rejilla o pasillo aéreo”, la cual trabaja con fotos tomadas tipo cuadrículas como serían los planes de vuelo, los valores que aparecen en la parte inferior serán optimizados automáticamente según el tipo de emparejamiento a seleccionar, marcar la opción usar emparejamiento geométricamente verificado para no confundir al programa con posiciones de imágenes falsas, ya que algunas son geométricamente parecidas y podrían provocar ruido en la imagen, con esta opción si no existe un trazado de rayos geométricamente verificado no se realizaría el emparejamiento entre esas imágenes, eliminando las inconsistencias geométricas en el agrupe (véase figura 65).

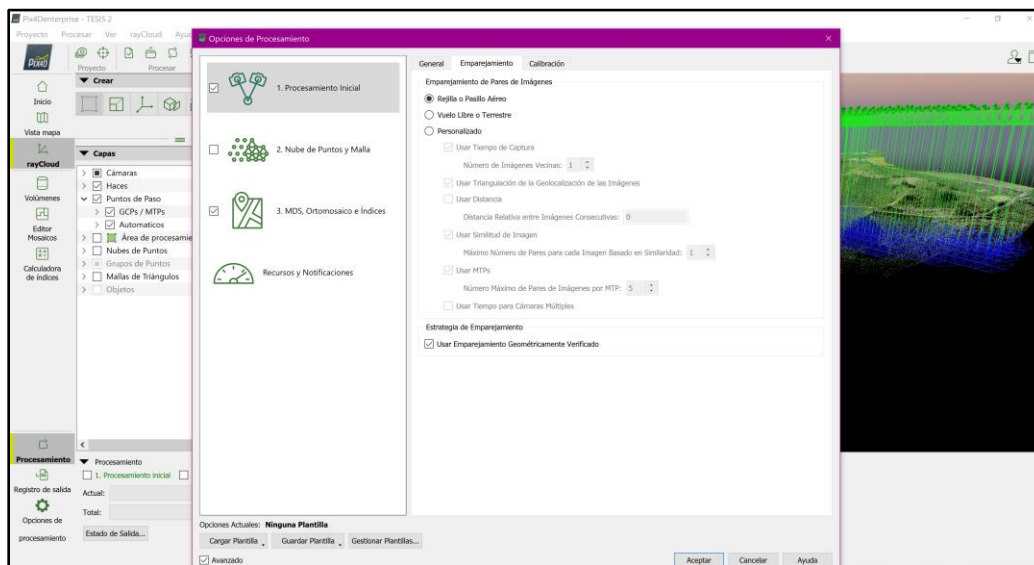


Figura 65 Opciones de emparejamiento dadas por pix4Dmapper **Fuente:** Elaboración Propia.

La última pestaña denominada calibración, nos hablará primero del número de puntos clave creados por imagen aquí seleccionaremos que el máximo número de puntos clave sea 10000, para así tener una riqueza de puntos.

A continuación, nos mostrará el método de calibración, aquí se seleccionará el método estándar ya que es el más usado en la plantilla de “3D maps”. La optimización de los parámetros externos e internos de la cámara se seleccionarán todos; estos parámetros serán mencionados más adelante.

La opción de Re-emparejamiento lo que hará es aumentar el número de agrupes, para mejorar el modelo, generalmente se le deja en automático ya que las imágenes tomadas presentan altas calidades por lo que no habría necesidad (véase figura 66).

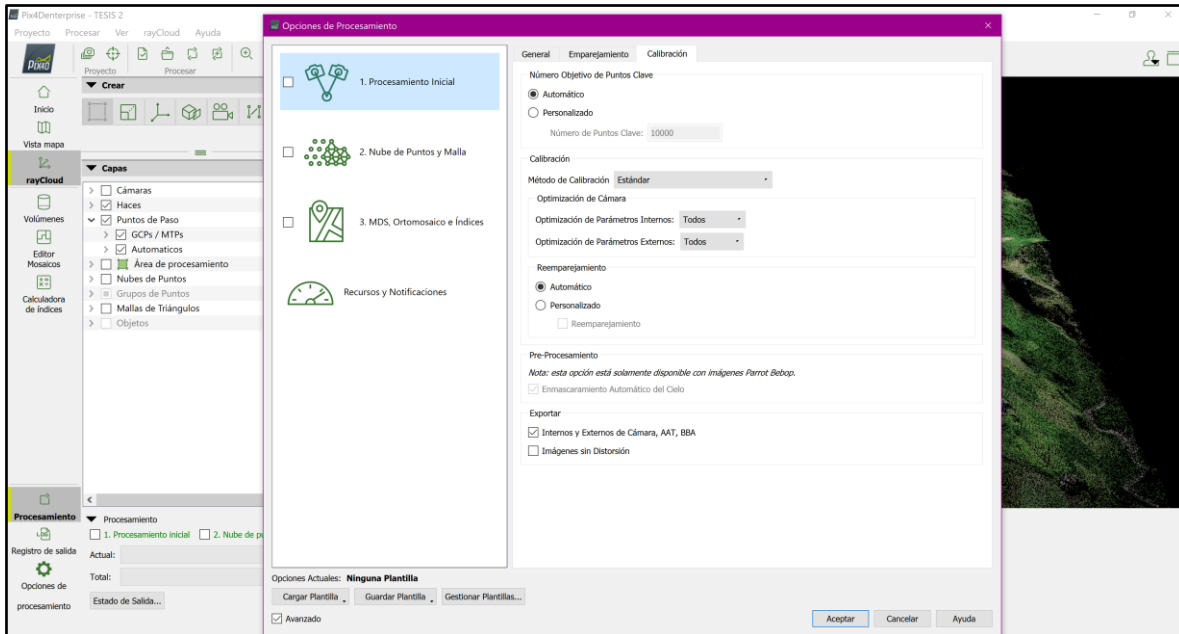


Figura 66 Opciones de calibración dadas por el software pix4dmapper **Fuente:** Elaboración Propia.

Una vez seleccionado todos los parámetros del procesamiento inicial se aceptará todas las configuraciones, y en la opción procesamiento iniciaremos el proceso y esperamos que este termine.

#### 4.3.1. Ajuste con puntos de Enlace.

Los ATP (Automatic tie points), son los productos que se obtienen del procesamiento inicial del software, los cuales exponen un conjunto de puntos 3D que modelan el terreno mostrando como se vería la escena, también es conocida como nube de puntos dispersa.

Además, estos nos ayudarán a ubicar las imágenes indicándonos la dirección de su orientación, por eso se recomienda tener un buen solapamiento o traslape para tener una riqueza en puntos de enlace y obtener un mejor trazado de rayos.

Lo que hace el trazado de rayos es lanzar líneas asociando en cada fotografía puntos en común y así poder ubicar los puntos en el espacio y crear un modelo 3D.

El color azul indica la posición y orientación inicial de la fotografía, mientras que el color verde indica la posición y orientación final de la fotografía, este procesamiento dependerá el tipo de sistema de navegación que tenga el dron y será más preciso si el equipo incluye en el mismo sistema RTK.

La nube de rayos será visible al dar clic en cualquier punto de la nube dispersa, los cuales serán de color verde y naranja, el color verde indicará el número de imágenes que son visibles los puntos en común, y el color naranja indicará la cantidad de imágenes donde fueron marcadas ese punto en común (véase figura 67).

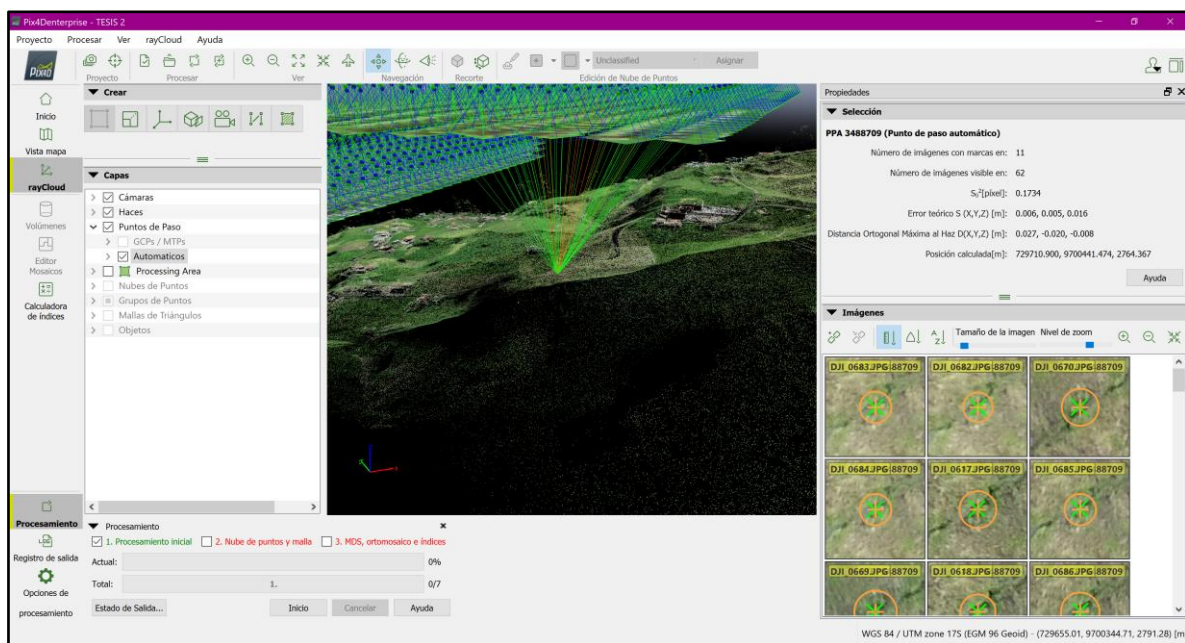


Figura 67 Productos del procesamiento Inicial en el software Pix4Dmapper **Fuente:** Elaboración Propia.

### 4.3.2. Productos a obtener del procesamiento inicial.

Lo que vamos a obtener es la ubicación de las posiciones de la cámara, así como su orientación tanto inicial como la optimizada, se podrá observar la nube de puntos dispersa la cual ya simulará un modelo 3D del terreno, así como el trazado de rayos será visible haciendo clic en cualquier punto de la nube dispersa.

Si nos aparecen imágenes en un color rojo, nos indicará que tiene un error de píxeles, y no fue posible obtener una calibración de imagen, generalmente estas ocurren en las imágenes de los bordes, es por ello el motivo que se recomienda hacer un polígono más

grande que el terreno, ya que estos errores son inesperados y pueden provocar que esa zona tenga una pérdida de información (véase figura 68).

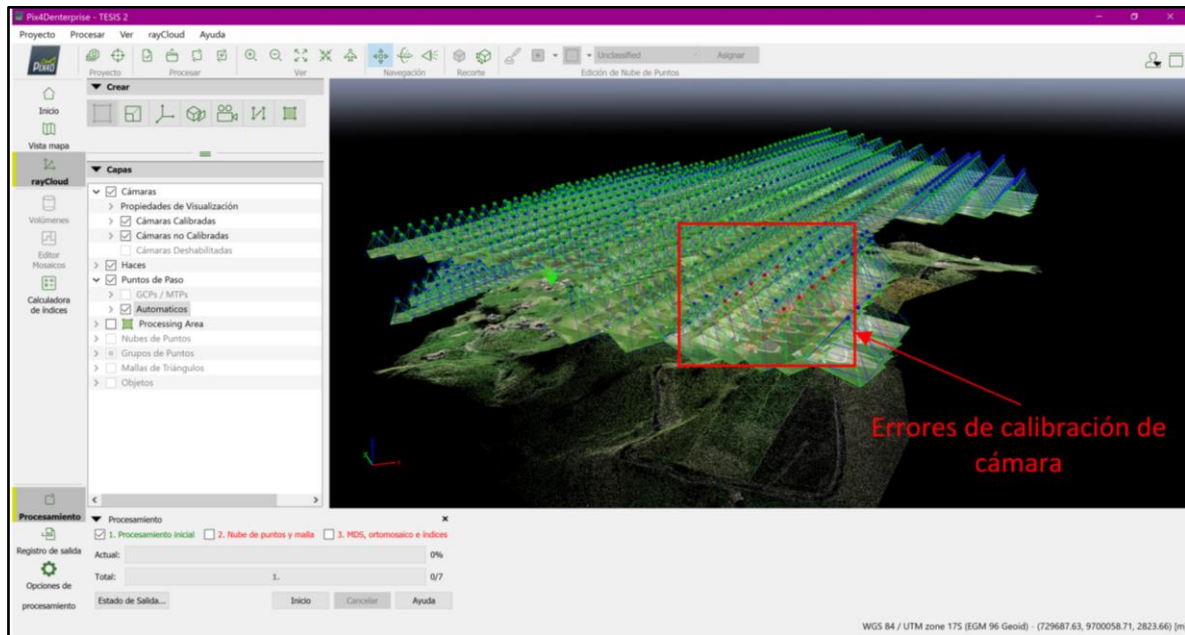


Figura 68 Errores que se presentan en imágenes **Fuente:** Elaboración Propia.

También se podrá apreciar el informe de calidad inicial el cual determinará si los productos a obtener presentarán una buena calidad o una mala de aquí dependerá todo el proyecto.

#### 4.3.3. Análisis del Reporte de calidad.

Al finalizar el procedimiento inicial nos mostrará automáticamente un reporte de calidad, de no ser el caso seleccionar la opción informe de calidad ubicado en la parte superior del software.

Lo primero que nos va a mostrar es el significado del icono con signo de pregunta en amarillo, será para dudas que se tenga y el signo el color azul será una información adicional de ciertos parámetros analizados en el reporte.

Seguido de eso nos mostrará un cuadro de resumen en donde nos indicará el nombre del proyecto, la fecha que fue procesado, el modelo de la cámara que se usó, el GSD promedio correspondiente de toda la zona; este valor no fue igual al calculado mediante la hoja de

cálculo del programa pix4Dmapper por la gran diferencia de desniveles que el terreno presentó, considerando que el drone voló a una altura constante desde el punto de partida y en lugares con gran desnivel el GSD sería mucho mayor al calculado, es por eso que el software saca un promedio de todos los GSD presentes en las fotografías, este valor será el final que tendremos en nuestro ortomosaico.

Además, nos mostrará el área que cubrió el equipo, esta área será mayor a la calculada porque el software tomará la información de las imágenes de los bordes, los cuales sobrepasan el polígono de vuelo (véase figura 69).

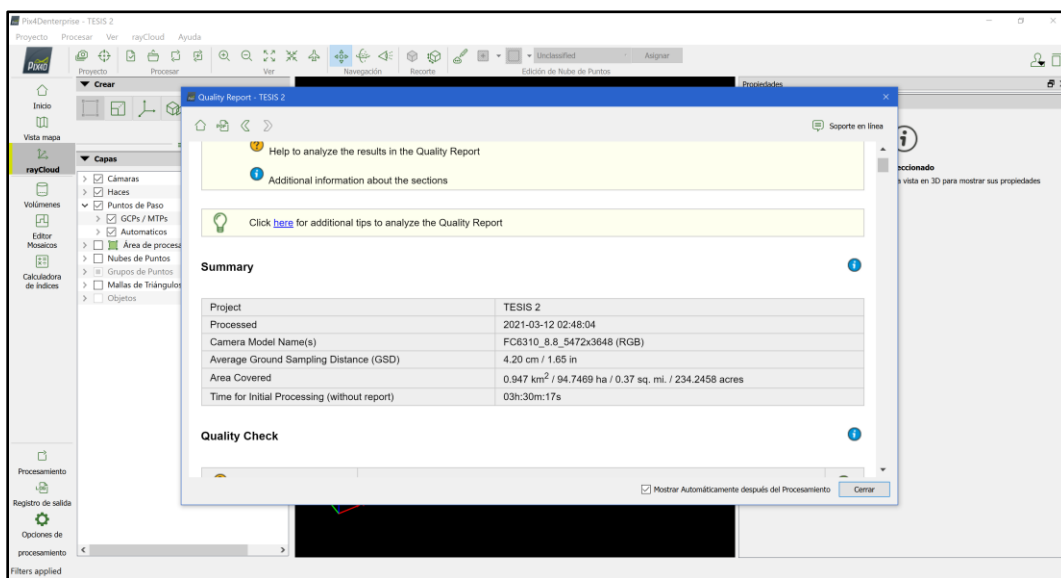


Figura 69 Parte del reporte de calidad mostrado por el programa pix4dmapper **Fuente:** Elaboración Propia.

Seguido de esto nos mostrará la opción chequeo de calidad, aquí se observará los resultados principales que nos da el software, pero no es lo único en lo que se deberá de fijar para determinar si el proyecto es correcto.

El primer chequeo habla acerca de las imágenes, mostrándonos parámetros estadísticos como es el cálculo de la mediana en este caso de 62082 puntos calculados por imagen, para saber que esto es correcto daremos clic en el símbolo azul de información, el cual nos dirá el número de puntos aceptados que debería tener cada imagen según la resolución seleccionada para considerar si existirá una buena o mala calidad (véase figura 70).

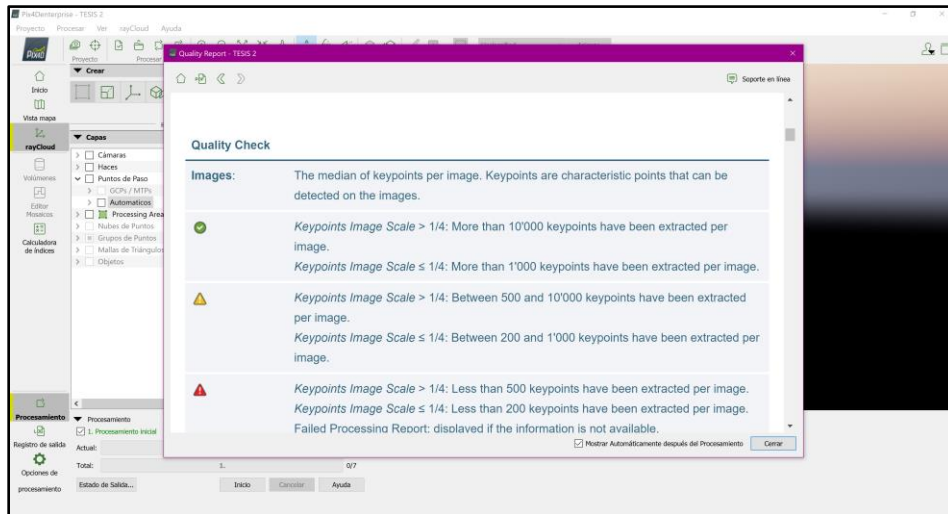


Figura 70 Información que brinda el software Pix4dmapper referente a las diferentes opciones que puede brindar el reporte de calidad **Fuente:** Elaboración Propia.

La segunda opción habla acerca de sus datos es decir el número de imágenes calibradas, si nos indica que todas las imágenes fueron calibradas obtendremos productos de excelente calidad, de no ser el caso el software no tomará en cuenta las imágenes que no fueron calibradas y en el modelo puede dar espacios vacíos por pérdida de información (véase figura 71).

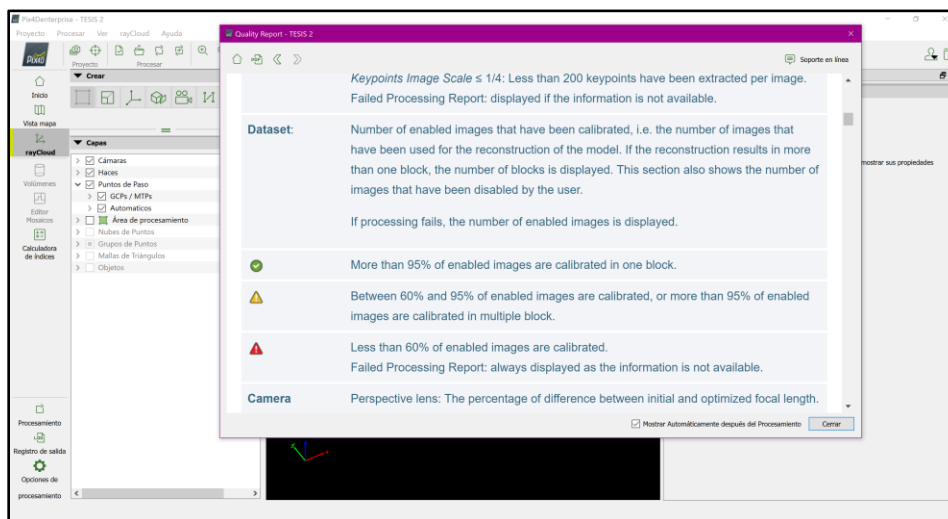


Figura 71 Información que brinda el software Pix4dmapper referente a las diferentes opciones que puede brindar el reporte de calidad **Fuente:** Elaboración Propia.

El tercer ítem nos indicará acerca de la optimización de cámara, que sería la diferencia de valores entre los parámetros internos de la cámara inicial y la que optimiza el software, si este valor supera el 5% el software lo considera ya como impreciso, es por ello que se recomienda no usar cámaras muy básicas.

El cuarto ítem denominado “matching”, se refiere a la cantidad de agrupes que tendrán los puntos en común por imagen calibrada, calculado mediante el empleo de la mediana, en este caso se obtuvieron un total de 20484,7 agrupaciones por imagen.

Para saber que este valor es correcto, el software mostrará una tabla con la cantidad de agrupes que deberá tener una imagen calibrada según la escala que se usó, (véase figura 72).

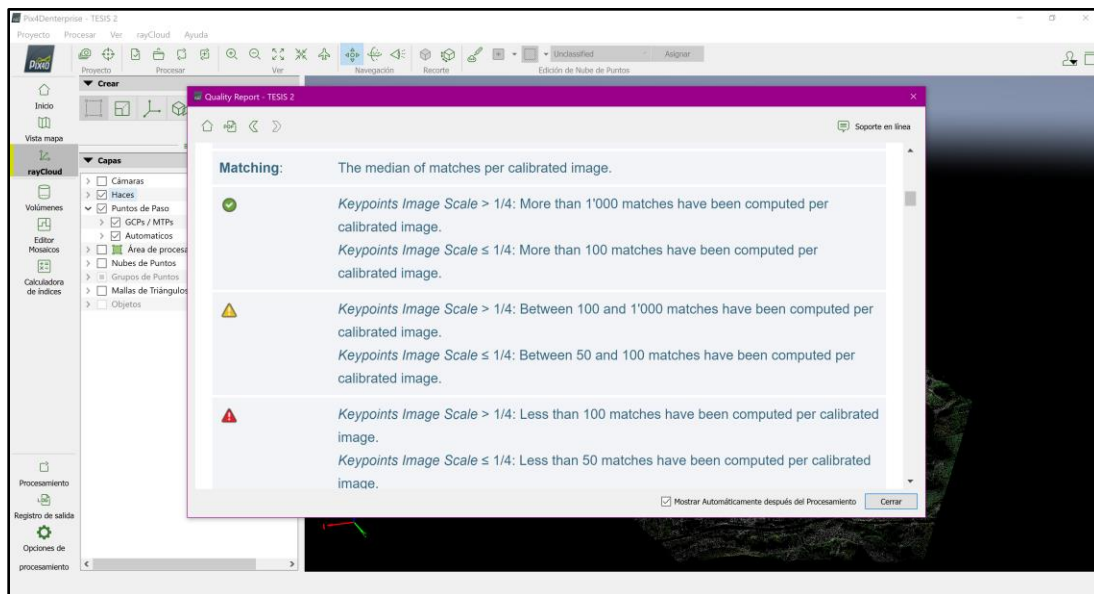


Figura 72 Información que brinda el software Pix4dmapper referente a las cantidades de puntos en común que deberán tener por imagen calibrada **Fuente:** Elaboración Propia.

El último punto habla acerca de la georreferenciación que tendrá la imagen, aquí nos marcara un error debido a que faltan ser ingresados los puntos de control.

Lo siguiente que nos muestra el reporte de calidad es una ventana tipo vista previa de cómo se verá el ortomosaico y modelo digital de elevación final, aquí se observará que el modelo este completo y no presente espacios huecos causados por imágenes dañadas, si todo está correcto será un buen proceso (véase figura 73).

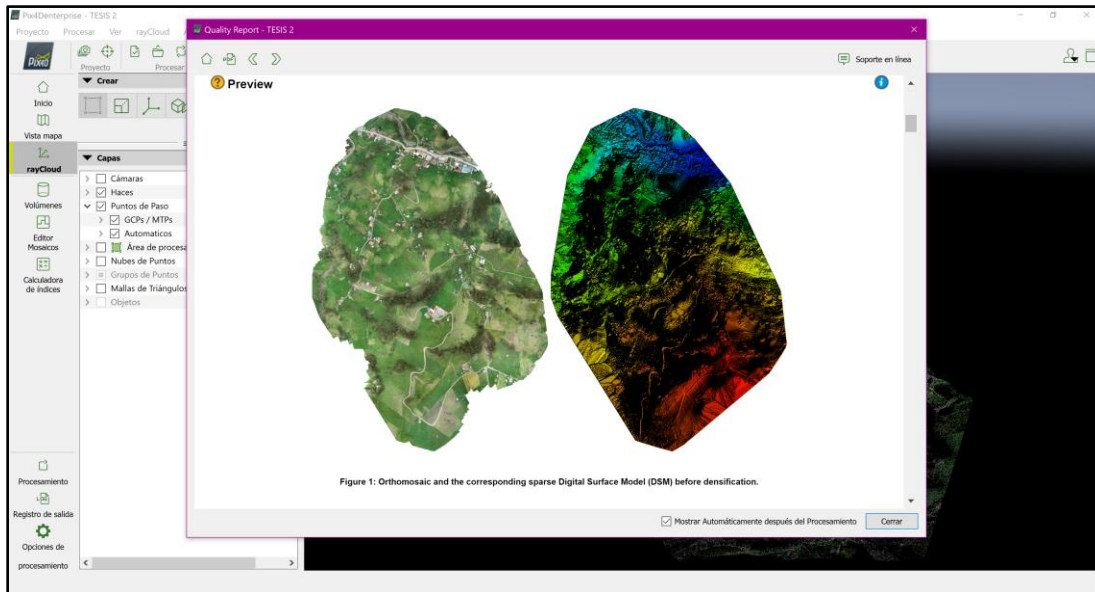


Figura 73 Vista previa del Ortomosaico y DSM a generar mediante el programa pix4dmapper **Fuente:** Elaboración Propia.

Seguido de eso veremos los detalles de calibración de las imágenes y la trayectoria de vuelo empleada donde los puntos de color azul corresponden a cada una de las fotografías tomadas (véase figura 74).



Figura 74 Posiciones de cada una de las fotografías tomadas **Fuente:** Elaboración Propia.

Seguido de eso veremos 3 vistas, una en planta, una en el plano xz y otra en el plano yz de las imágenes tomadas; el color verde nos indicará la posición original de la fotografía y el color azul el mostrará el error de geolocalización que se tuvo en función al centro de perspectiva (véase figura 75).

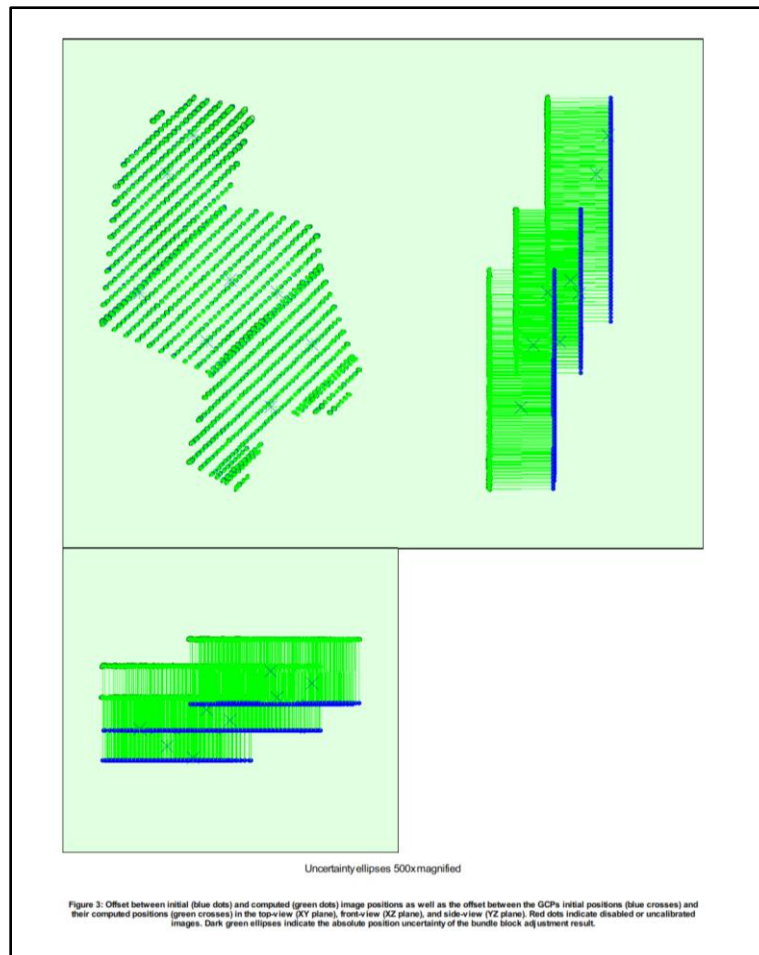


Figura 75 Diferentes posiciones de las fotografías vistas desde diferentes perspectivas **Fuente:** Elaboración Propia.

A continuación, se observará las incertidumbres de posición en x, y, z de las cámaras y orientación Omega, Phi y Kappa; el software calculará un promedio y una desviación estándar. Observamos que tenemos valores relativamente pequeños por lo que se considera que están dando buenos resultados.

La gráfica de solapamiento en color verde indica que más de 5 imágenes han sido superpuestas lo ideal es que toda la zona a mapear deberá salir de color verde, los colores

rojos indican un bajo nivel de solapamiento generalmente presentes en los bordes, donde ya existe una poca cantidad de información y superposición de imágenes.

Si marcara colores rojos o naranjas en la parte central del modelo ya es un problema grave porque puede generar huecos por falta de información en los productos finales a obtener (véase figura 76).

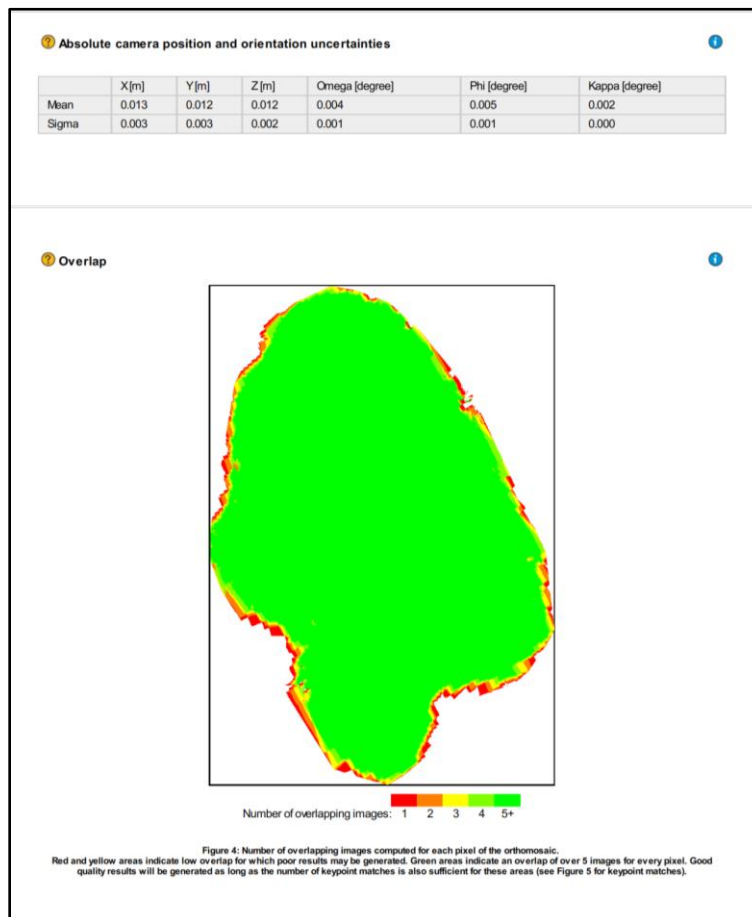


Figura 76 Nivel de solapamiento presente en nuestro modelo **Fuente:** Elaboración Propia.

El término “BBA” (bundle block Adjustment), el cual hace referencia a todo el bloque de imágenes tomadas en el modelo nos indicará la cantidad de puntos tanto 2D como 3D que tendrá todo el bloque.

El error de proyección en pixeles se podrá observar en la figura 77, indicando que este valor será la distancia horizontal que existe en el trazado de rayos, entre el valor marcado

que se presenta en color naranja y el valor proyectado mostrado en color verde lo ideal sería que este valor sea igual o menor a 1 pixel, este valor se podrá observar en la figura 78.

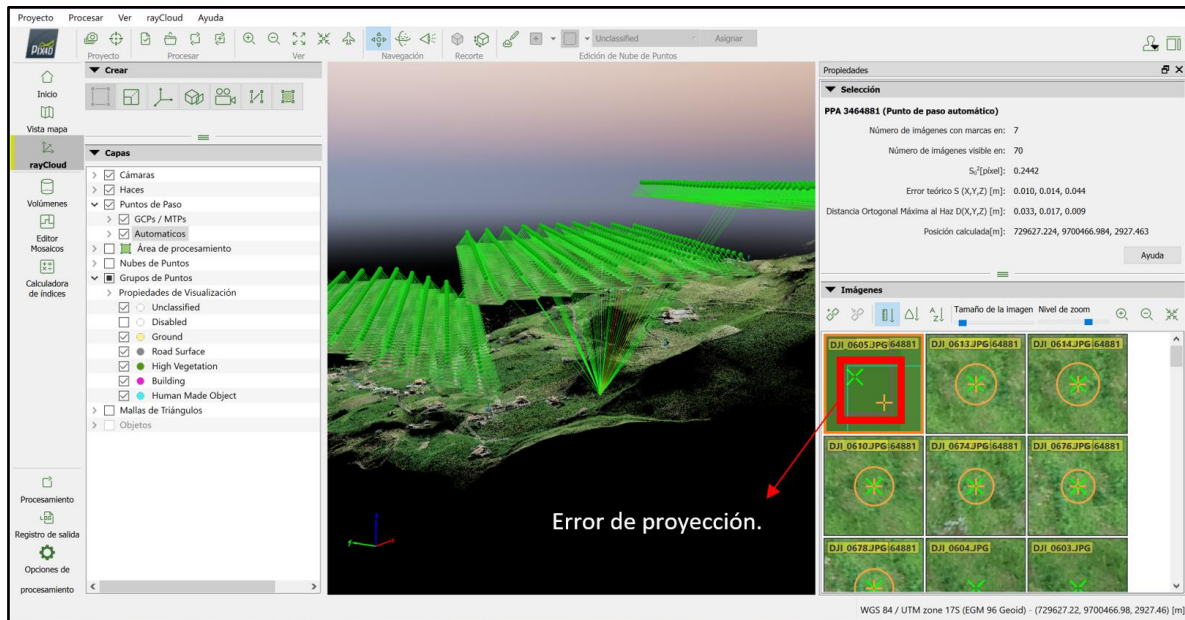


Figura 77 Error de proyección presente en una imagen **Fuente:** Elaboración Propia.

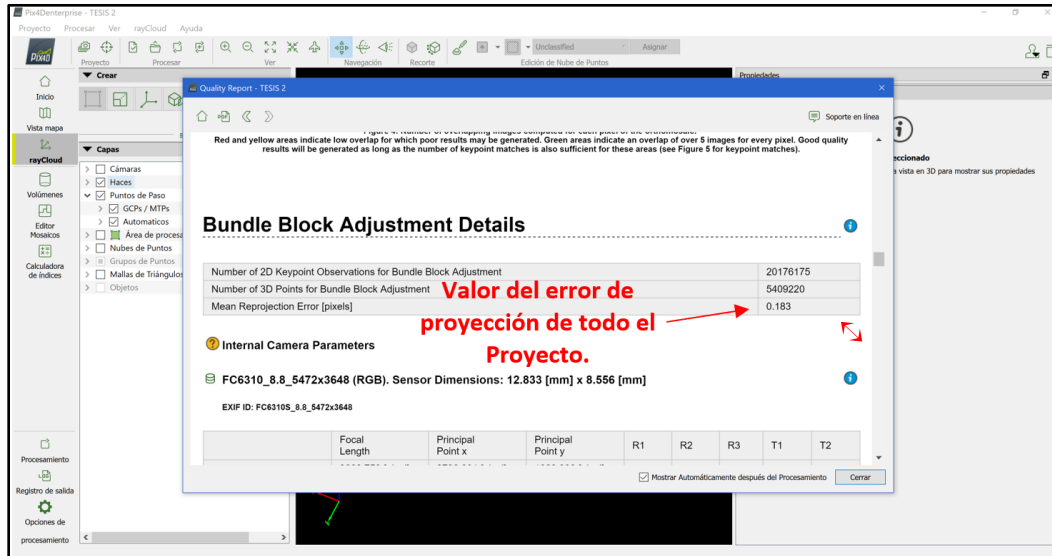


Figura 78 Valores que indican la tabla BBA, en el reporte de calidad de pix4Dmapper **Fuente:** Elaboración Propia.

El siguiente punto es el análisis de los parámetros internos de la cámara como es la distancia focal, coordenadas x, y del punto principal, los 3 coeficientes de distorsión radial,

y los 2 coeficientes de distorsión tangencial, los cuales nos darán en valores de milímetros y pixeles, estos son realizados mediante cálculos internos del software.

Estos parámetros serán mostrados en una tabla, indicándonos valores iniciales, así como optimizados realizados durante todo el procesamiento inicial, es decir el trazado de rayos reproyecciones, calibraciones, etc; También nos mostrará los valores de incertidumbres (sigma), el cuál es la diferencia entre los valores iniciales y optimizados, aquí revisaremos que estos valores no tengan un desfase demasiado grande (véase figura 79).

Internal Camera Parameters									
FC6310_8.8_5472x3648 (RGB). Sensor Dimensions: 12.833 [mm] x 8.556 [mm]									
EXIF ID: FC6310S_8.8_5472x3648									
	Focal Length	Principal Point x	Principal Point y	R1	R2	R3	T1	T2	
Initial Values	3668.759 [pixel] 8.604 [mm]	2736.001 [pixel] 6.417 [mm]	1823.999 [pixel] 4.278 [mm]	0.003	-0.008	0.008	-0.000	0.000	
Optimized Values	3693.239 [pixel] 8.662 [mm]	2685.429 [pixel] 6.298 [mm]	1815.476 [pixel] 4.258 [mm]	-0.013	0.003	0.006	-0.001	-0.004	
Uncertainties (Sigma)	0.281 [pixel] 0.001 [mm]	0.033 [pixel] 0.000 [mm]	0.027 [pixel] 0.000 [mm]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	

Figura 79 Resultados presentados de los parámetros internos de la cámara realizada a través del software Pix4Dmapper **Fuente:** Elaboración Propia.

Seguido de esta tabla veremos una matriz de correlación, la cual como su nombre lo indica nos mostrará que tanto están correlacionados los parámetros internos de la cámara entre sí, mostrándonos con una escala de colores entre diferentes tonalidades de blanco, gris y negro; donde el color blanco indicará un alto grado de correlación y el color negro indicará que es un valor independiente es decir si se modifica este parámetro los demás no sufrirán cambios (véase figura 80).

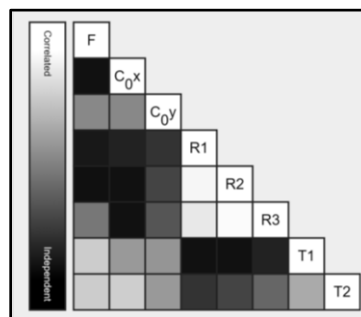


Figura 80 Matriz de correlación dada por el informe de calidad del programa Pix4Dmapper **Fuente:** Elaboración Propia.

El cuadro en color blanco presente debajo de la matriz de correlación nos mostrará un resumen de la densidad de ATPs presentes en las imágenes donde el color blanco nos indicará una mayor densidad y el color negro una baja densidad, para un mejor entendimiento los ATP, también pueden ser observados en la ventana de “raycloud”, para activarlos se marcará en cualquier punto de la nube de puntos dispersa mostrándonos al lado derecho una ventana con la información del mismo y en color naranja en número de puntos en común presente en la imagen (véase figura 81).

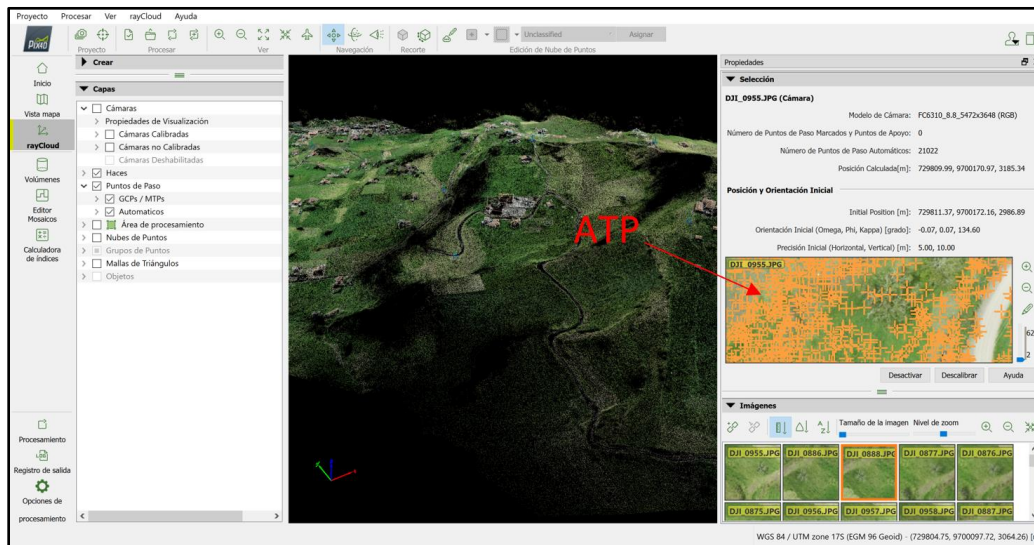


Figura 81 Puntos de paso creados en el programa de manera automática **Fuente:** Elaboración Propia.

Luego observaremos una tabla 2D para puntos clave y agrupes de los mismos, mostrándonos valores estadísticos como la mediana, mínimo, máximo, dichos valores son promediados de cada una de las imágenes y presentados en la tabla.

También se podrá observar una tabla que indicará el número de puntos 3D creados a partir del emparejamiento de imágenes 2D, donde este valor ira reduciéndose según se aumenta el número de emparejamientos entre imágenes, porque existirán menos zonas en común (véase figura 82).

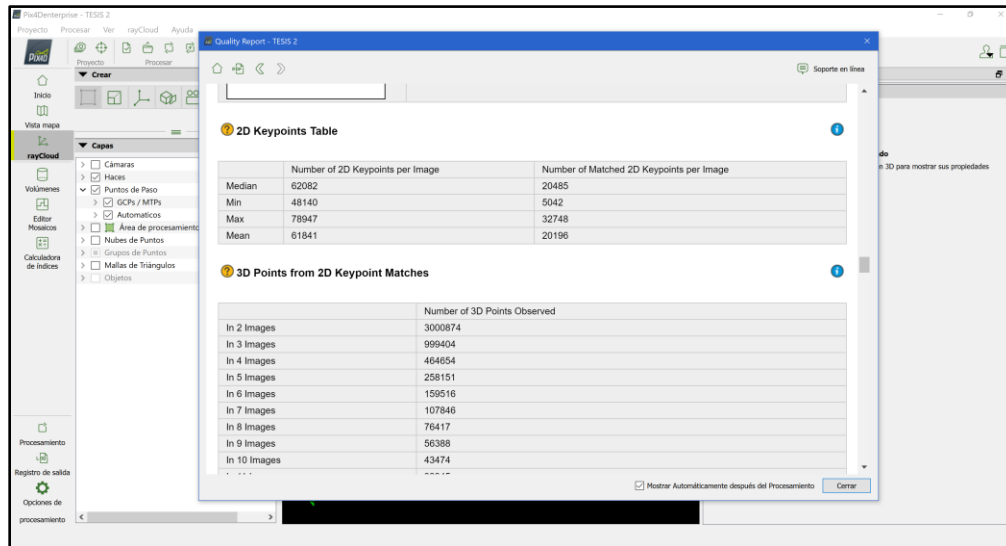


Figura 82 Número de puntos 2D y 3D creados mediante el emparejamiento de imágenes **Fuente:** Elaboración Propia.

Seguido de esto se podrá observar nuevamente el mapa 2D vistos en planta, plano xz y plano yz; mostrándonos colores según sean las agrupaciones de puntos en común entre imágenes, el color negro indicará agrupaciones altas y los colores grises pocas agrupaciones por lo general se darán en los bordes por la falta de traslape haciendo que esta pueda presentar fallas (véase figura 83).

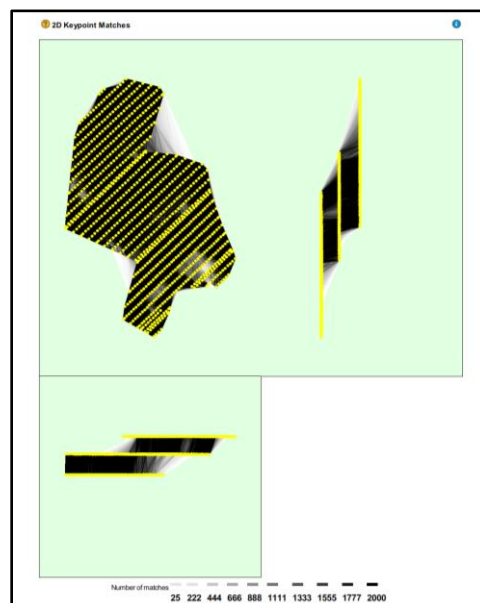


Figura 83 Agrupaciones de puntos en común observado en diferentes vistas **Fuente:** Elaboración Propia.

Como siguiente punto nos mostrará un valor de geolocalización de varianza donde comenzara desde el 0 e ira progresivamente avanzando hacia lo positivo y negativo lo ideal es que estos números estén en valores cercanos a 0, si están muy arriba o muy debajo de este valor ya indicará valores en color rojo y el motivo será que las imágenes están muy desfasadas con los valores iniciales y finales (véase figura 84).

Absolute Geolocation Variance				
Min Error [m]	Max Error [m]	Geolocation Error X [%]	Geolocation Error Y [%]	Geolocation Error Z [%]
-	-15.00	0.00	0.00	0.00
-15.00	-12.00	0.00	0.00	0.00
-12.00	-9.00	0.00	0.00	0.00
-9.00	-6.00	0.00	0.00	0.00
-6.00	-3.00	0.00	0.00	4.00
-3.00	0.00	40.84	47.65	56.46
0.00	3.00	59.16	52.35	21.12
3.00	6.00	0.00	0.00	18.42
6.00	9.00	0.00	0.00	0.00
9.00	12.00	0.00	0.00	0.00
12.00	15.00	0.00	0.00	0.00
15.00	-	0.00	0.00	0.00
<b>Mean [m]</b>		0.951441	1.312736	-195.719167
<b>Sigma [m]</b>		0.424625	0.517958	2.329451
<b>RMS Error [m]</b>		1.041896	1.411225	195.733029

Min Error and Max Error represent geolocation error intervals between -1.5 and 1.5 times the maximum accuracy of all the images. Columns X, Y, Z show the percentage of images with geolocation errors within the predefined error intervals. The geolocation error is the difference between the initial and computed image positions. Note that the image geolocation errors do not correspond to the accuracy of the observed 3D points.

Geolocation Bias	X	Y	Z
Translation [m]	0.951441	1.312736	-195.719167

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

Figura 84 Valores de geolocalización de varianza calculados por el software pix4dmapper **Fuente:**  
Elaboración Propia.

Luego nos indicará la geolocalización relativa y valores de errores RMS de los ángulos Omega, Phi y Kappa en función a la posición inicial y la posición final que se obtuvo de las imágenes (véase figura 85).

Finalmente nos mostrará información de la computadora con la que se procesó como es RAM, tarjeta gráfica, y tipo de sistema operativo, además nos mostrarán los sistemas de coordenadas de entrada y salida, así como las opciones que se tomaron antes de generar el procesamiento inicial. (véase anexo 3).

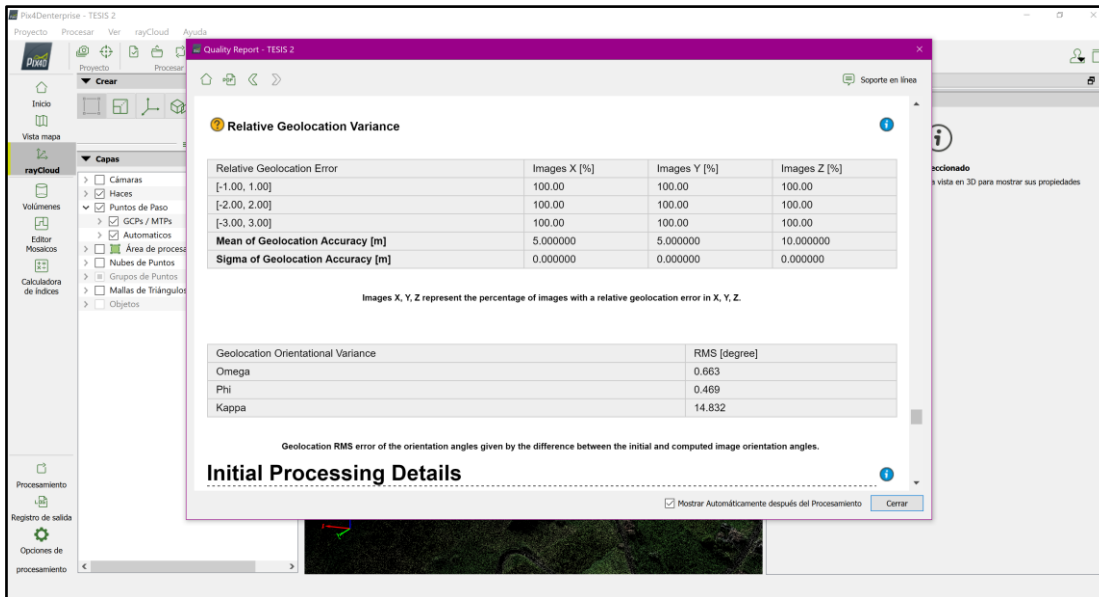


Figura 85 Valores de la geolocalización relativa y valores de errores RMS **Fuente:** Elaboración Propia.

#### 4.3.4. Importación de los puntos de control tomados al software pix4Dmapper.

Ya realizado el procesamiento inicial, se procederá a ingresar los puntos de control tomados mediante el equipo GNSS en modo RTK, para esto daremos clic en la pestaña denominada “Gestor GCP/MTP”, ubicada en la parte superior del software pix4Dmapper (véase figura 86).

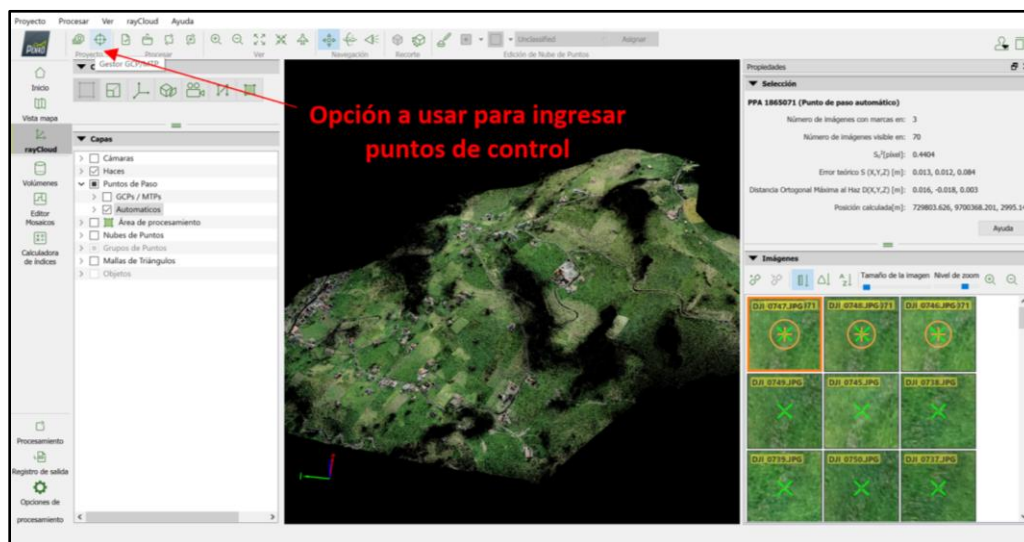


Figura 86 Paso para ingresar los puntos de control **Fuente:** Elaboración Propia.

Una vez ingresada en la opción mencionada, el software nos mostrará una ventana con el mismo nombre “Gestor GCP/MTP”, el cual nos indicará las coordenadas del sistema de entrada que deberán tener los puntos de control para ser reconocidos; si se desea cambiar para que el programa reconozca el sistema de coordenadas se deberá dar clic en la opción editar, mostrada en la misma ventana e ingresar el sistema con el que fueron tomados los puntos.

Para ingresar los puntos de control, seleccionar la opción importar puntos de apoyo, nos mostrará una ventana, en la cual se deberá escoger el orden de las coordenadas a ingresar ya sea primero este o primero norte, esto dependerá de cómo fueron ingresadas en la hoja de Excel.

Una vez definido este parámetro seleccionamos la opción explorar buscamos la ubicación de nuestro archivo y le damos en abrir y aceptar (véase figura 87).

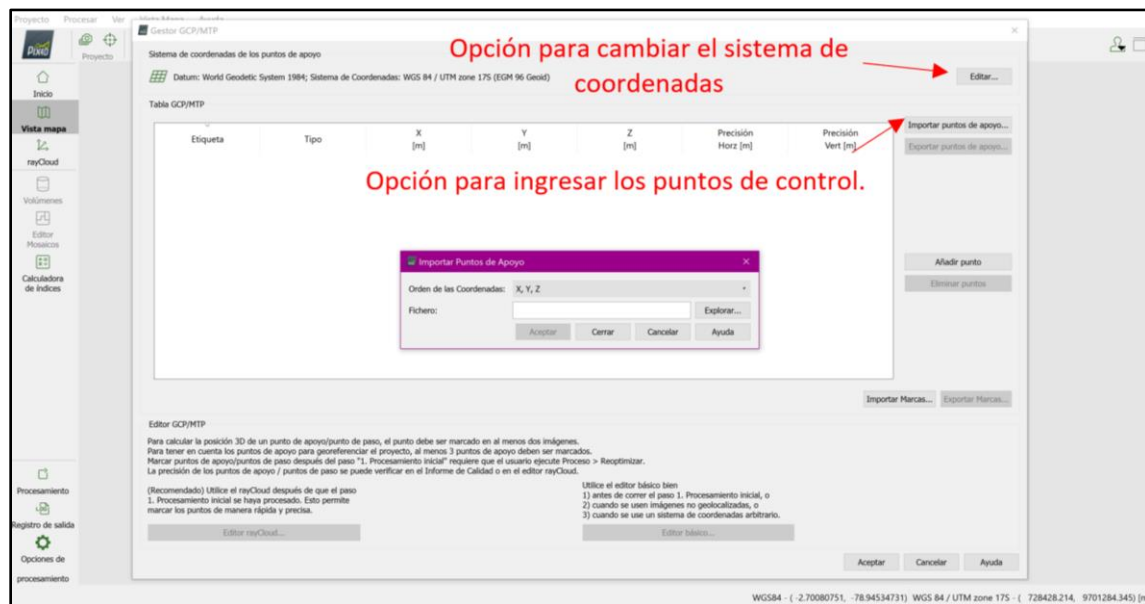


Figura 87 Pasos para ingresar los puntos de control **Fuente:** Elaboración Propia.

Nos aparecerán todos los puntos tomados con el equipo GNSS en modo RTK, mostrándonos el nombre del punto, su tipo, es decir: si es punto de control el programa lo denominará como “3D punto de apoyo”, o si es punto de chequeo se lo denominará con el nombre “punto de control”, los puntos de chequeo el programa no le tomará en cuenta para

su procesamiento, esta ventana también nos mostrará coordenadas en x, y, z, precisiones horizontales y verticales.

Al momento de ingresar los puntos el programa los reconocerá automáticamente asignándoles como tipo “3D punto de apoyo”, el usuario deberá designar manualmente los puntos que considero usar como de chequeo solamente seleccionando en el cuadro la opción tipo y cambiarlo a “punto de control” (véase figura 88).

Sistema de coordenadas de los puntos de apoyo  
Datum: World Geodetic System 1984; Sistema de Coordenadas: WGS 84 / UTM zone 17S (EGM 96 Geoid)

Etiqueta	Tipo	X [m]	Y [m]	Z [m]	Precisión Horz [m]	Precisión Vert [m]
0	Punto de chequeo	729543.765	9700581.587	2910.950		
59	PC1	729543.765	9700581.587	2910.950	0.020	0.020
52	PC2	729821.180	9700621.401	2937.340	0.020	0.020
54	PC3	729627.341	9700946.325	2858.049	0.020	0.020
65	PC4	729749.420	9700433.056	2970.285	0.020	0.020
48	PC5	729964.304	9700583.788	3006.574	0.020	0.020
47	PC6	730070.320	9700424.918	3051.242	0.020	0.020
19	PC7	729945.472	9700233.396	3088.588	0.020	0.020
61	PC8	729707.613	9701064.373	2822.336	0.020	0.020

8/15 Puntos de apoyo con suficiente número de marcas

Editor GCP/MTP  
Para calcular la posición 3D de un punto de apoyo/punto de paso, el punto debe ser marcado en al menos dos imágenes.  
Para tener en cuenta los puntos de apoyo para georeferenciar el proyecto, al menos 3 puntos de apoyo deben ser marcados.  
Marcar puntos de apoyo/puntos de paso después del paso "1. Procesamiento inicial" requiere que el usuario ejecute Proceso > Reoptimizar.  
La precisión de los puntos de apoyo / puntos de paso se puede verificar en el Informe de Calidad o en el editor rayCloud.

(Recomendado) Utilice el rayCloud después de que el paso 1. Procesamiento inicial se haya procesado. Esto permite marcar los puntos de manera rápida y precisa.

Utilice el editor básico bien  
1) antes de correr el paso 1. Procesamiento inicial, o  
2) cuando se usen imágenes no geoticalizadas, o  
3) cuando se use un sistema de coordenadas arbitrario.

Editor rayCloud... Editor básico...

Importar puntos de apoyo... Exportar puntos de apoyo...  
Añadir punto Eliminar puntos  
Importar Marcas... Exportar Marcas...  
Aceptar Cancelar Ayuda

Figura 88 GCP ya ingresados **Fuente:** Elaboración Propia.

Los CGP ingresados, podemos observar en la ventana de “raycloud”, con marcas en color azul, las cuales si son seleccionadas nos mostrarán las imágenes cercanas a ese punto, y aquí debemos ubicar las marcas dejadas en el terreno y les procederemos a dar doble clic en el centro de ellas para poder georeferenciar esa marca con las coordenadas tomadas con el equipo GNSS en modo RTK (véase figura 89).

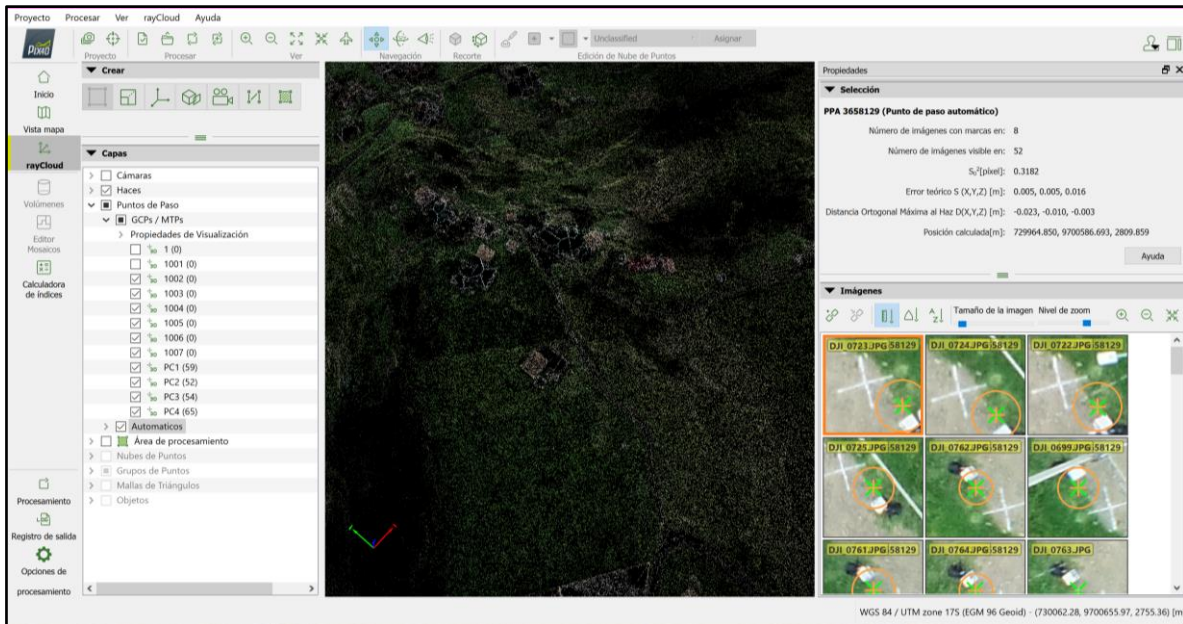


Figura 89 Ubicación de las marcas dejadas sobre el terreno **Fuente:** Elaboración Propia.

Ubicaremos los GCP y las emparejaremos con las marcas dejadas en el terreno en mínimo 8 imágenes cercanas, daremos clic en la opción aplicar, y este procedimiento lo realizaremos con cada uno de los puntos de control ingresados (véase figura 90).

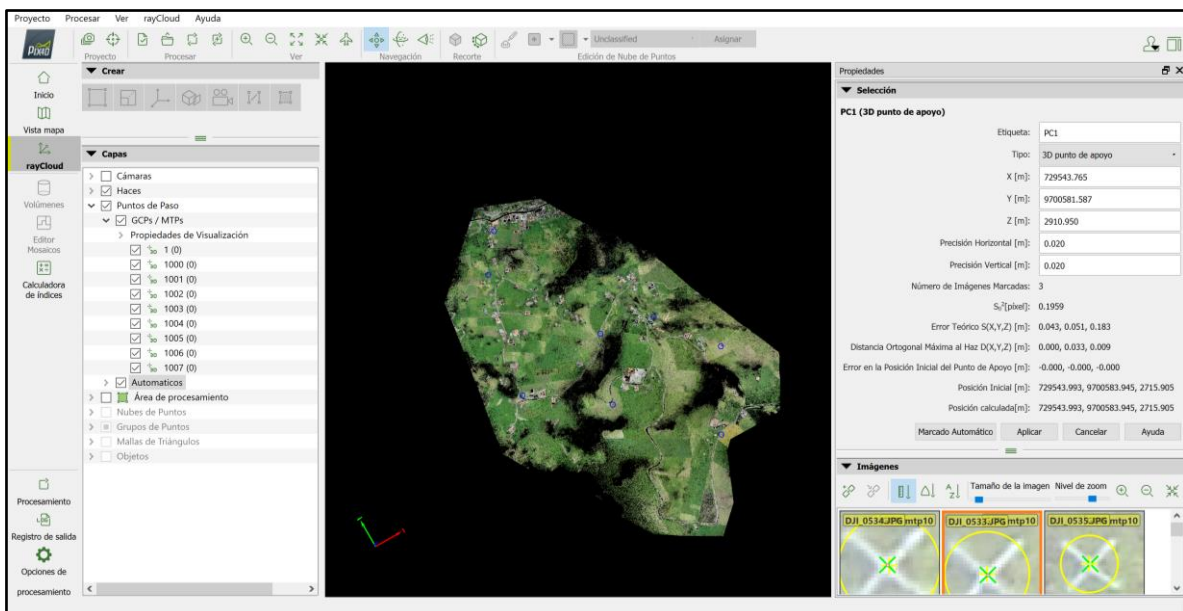


Figura 90 Ubicación de las marcas en función a los GCP **Fuente:** Elaboración Propia.

Una vez marcados todos GCP, daremos clic en la opción “Re-optimizar”, el cual ubicará todo el modelo creado en función a las coordenadas de GCP ingresados, antes de comenzar la Re-optimización el software nos mostrará un mensaje de advertencia que los datos existentes se sobrescribirán, daremos clic en aceptar y esperaremos a que el proceso termine (véase figura 91).

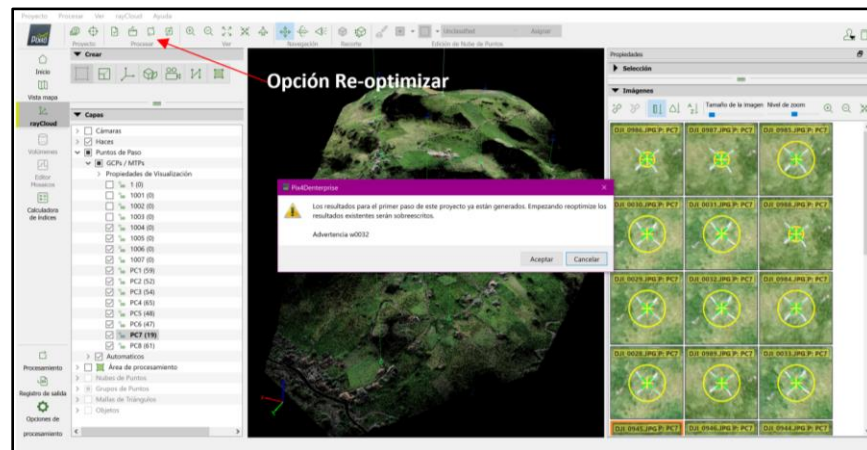


Figura 91 Re-optimización del modelo creado **Fuente:** Elaboración Propia.

Una vez Re-optimizado el modelo nos mostrará la posición de las cámaras, la inicial en color azul, y la posición final en color verde, esta posición final estará en función a los puntos de control ingresados haciendo que estas imágenes tengan una mejor precisión (véase figura 92).

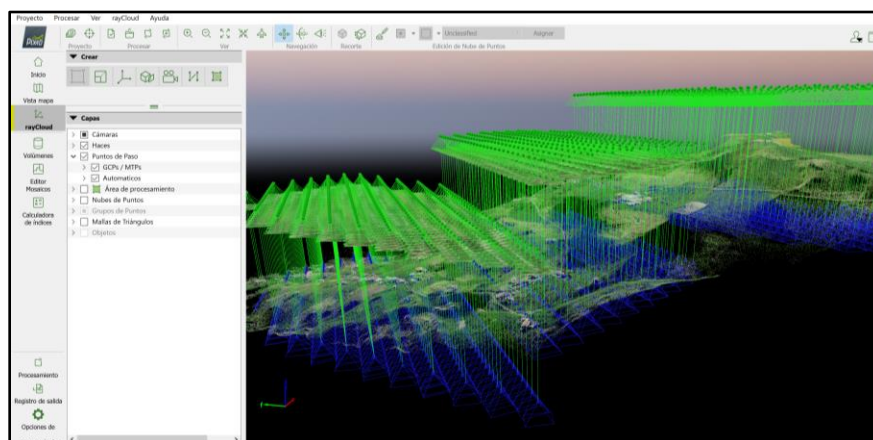


Figura 92 Modelo ubicado en función a los puntos de control **Fuente:** Elaboración Propia.

Haciéndole zoom en la nube de puntos dispersa se podrán observar las marcas de los GCP superpuestas casi en la misma posición, lo ideal es que tanto la posición inicial como final estén con corta diferencia de ubicación como se muestra en la figura 93, si una de las marcas está muy separada de la otra puede deberse a un mal ajuste de precisión.

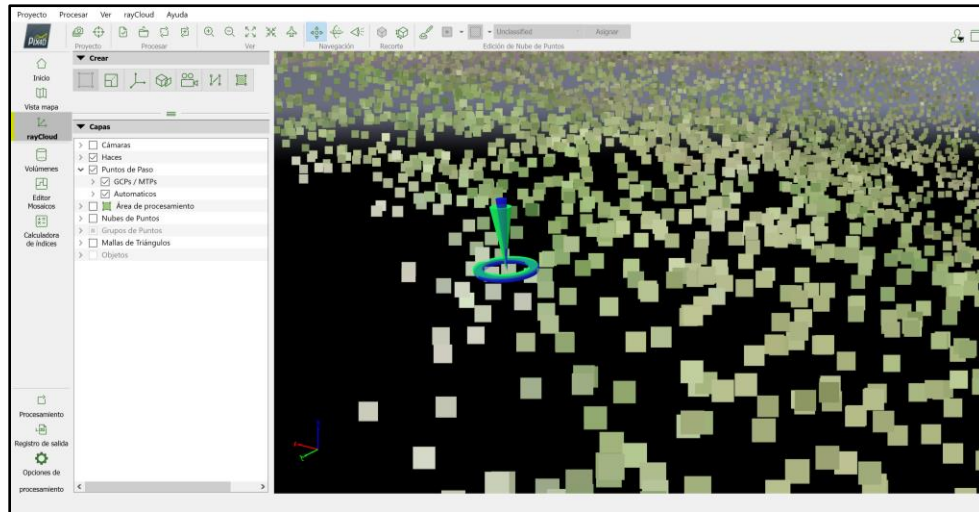


Figura 93 Posición inicial y optimizada de los puntos de control **Fuente:** Elaboración Propia.

Ya Re-optimizado el modelo se procederá a revisar otra vez el informe de calidad, observando la opción reporte de calidad, donde ya nos mostrará un error promedio de georreferenciación, este valor es considerado como válido si no es mayor a 5 veces el GSD calculado por el software (véase figura 94).

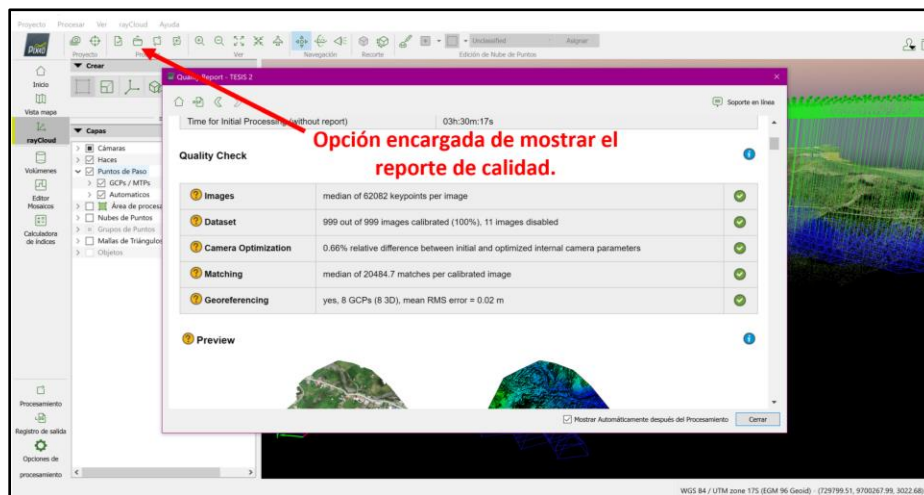


Figura 94 Valor de georreferenciación calculado por el software **Fuente:** Elaboración Propia.

Otro parámetro que se incrementará en el reporte de calidad es el valor de cada punto de control y su grado de error calculado por el software, aquí debemos revisar que estos errores no sean demasiado elevados.

Revisados todos estos parámetros se procederá a realizar nuevamente el paso número uno denominado procesamiento inicial, aquí ya seleccionaremos usar una escala de imagen completa y esperaremos.

#### **4.4. Análisis del paso dos denominado nube de puntos y malla.**

Una vez creado nuestro procesamiento inicial, volveremos a seleccionar la ventana opciones de procesamiento y enfocarnos en el paso número dos denominado nube de puntos y malla, la misma que tiene tres opciones:

- Nube de puntos.
- Malla 3D con textura.
- Avanzado.

La primera opción de nube de puntos se compone de tres cuadros de diálogos, el primer cuadro de diálogo hablará referente a la densificación de la nube de puntos, es decir ya se generó una nube de puntos dispersa, lo que hará esta opción es densificar estos puntos para la generación de una mayor cantidad de puntos 3D.

Para ello necesitaremos seleccionar una escala de imagen dependiendo de la cantidad de puntos que deseamos generar, el programa por defecto recomienda escalar a  $\frac{1}{2}$  del tamaño de la imagen, debido a que no existe una gran diferencia entre escalar en tamaño original y el de  $\frac{1}{2}$ , además se deberá marcar la opción multi-escala ya que esta opción nos ayudará a generar buenos resultados en zonas con mucha vegetación.

La densidad de puntos dependerá de la escala de la imagen seleccionada, el software recomienda que para una escala de imagen de  $\frac{1}{2}$  se use una densificación de puntos óptima ya que así el tiempo de procesamiento no será demasiado largo.

El número mínimo de emparejamientos, hace referencia al número de reproyecciones que existirá entre imágenes para generar puntos 3D, por recomendación del software una cantidad de emparejamientos óptima sería de tres, hay que tener en cuenta que mientras más

bajo sea este valor mayor cantidad de puntos se van a generar y mientras más alto menor cantidad de puntos se van a generar, si se tiene un traslape bajo se recomienda usar valores de emparejamientos bajos.

La opción de clasificación de nube de puntos la vamos a marcar, considerando que luego nosotros manualmente vamos a corregir esta clasificación.

La exportación de la nube de puntos puede ser generada en diferentes formatos, el más usado sería el tipo “.LAS “ el cual es un formato binario que posee información en x, y, z, siendo reconocido en la mayoría de softwares sin perder información; el formato a elegir ya dependerá del gusto y requerimientos de cada usuario, además hay que tener en cuenta que se deberá marcar la opción “funcionar teselas en un solo archivo”, con el fin de poder exportar a otros programas una nube de puntos completa y sin recortes (véase figura 95).

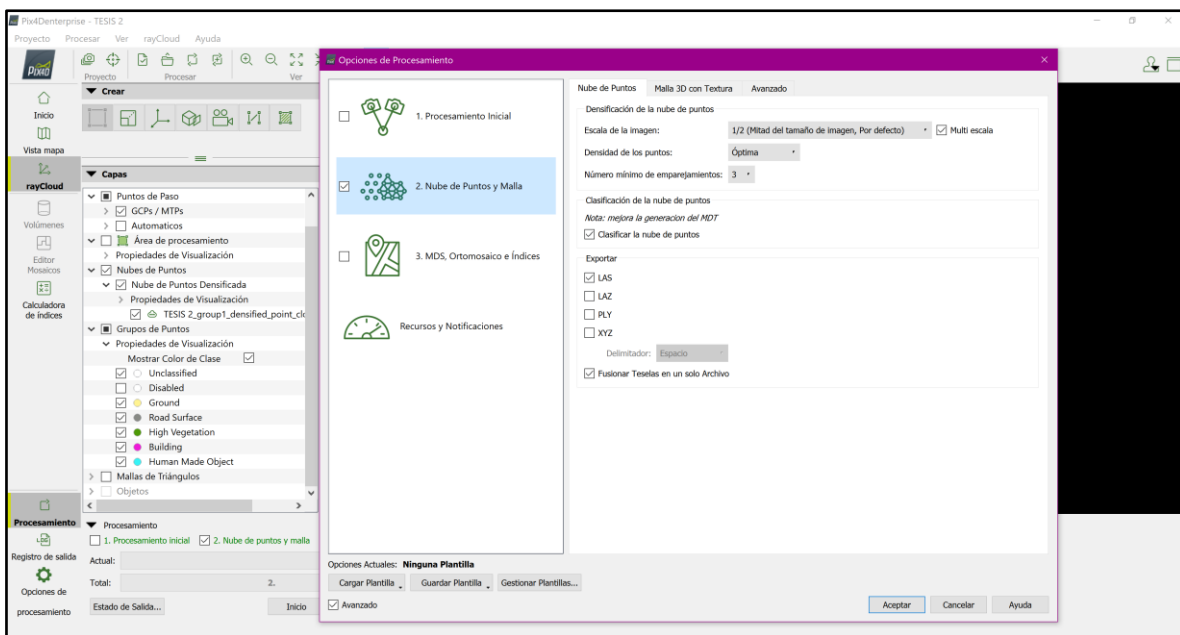


Figura 95 Opciones dadas por el software Pix4Dmapper para la creación de nube de puntos **Fuente:**  
Elaboración Propia.

La segunda opción denominada “Malla 3D con textura”, presentará varias opciones y para activarlas daremos clic en la opción “generar malla 3D con textura”, la misma que creará una triangulación de la zona mostrándonos una superficie continua compuesta por triángulos que nos revelan un modelo o malla 3D, la cual servirá de ayuda para determinar de mejor manera lugares vulnerables o difíciles de ver a simple vista.

En topografía no es muy usado los modelos 3D, por lo que no se necesita que este sea creado con gran detalle, entonces usaremos la resolución media que nos dará buenos resultados, si se desea tener un gran detalle en edificios, casas se podría usar la opción alta, pero esta consumiría mucho más tiempo en la creación del modelo.

La opción de usar balance de texturas la marcaremos para que la escena quede lo más homogénea posible, la exportación dependerá del formato que se desee, el más usado es el formato “.OBJ”, además marcaremos también el formato “.FBX”, el mismo que es reconocido por softwares de realidad aumentada (véase figura 96).

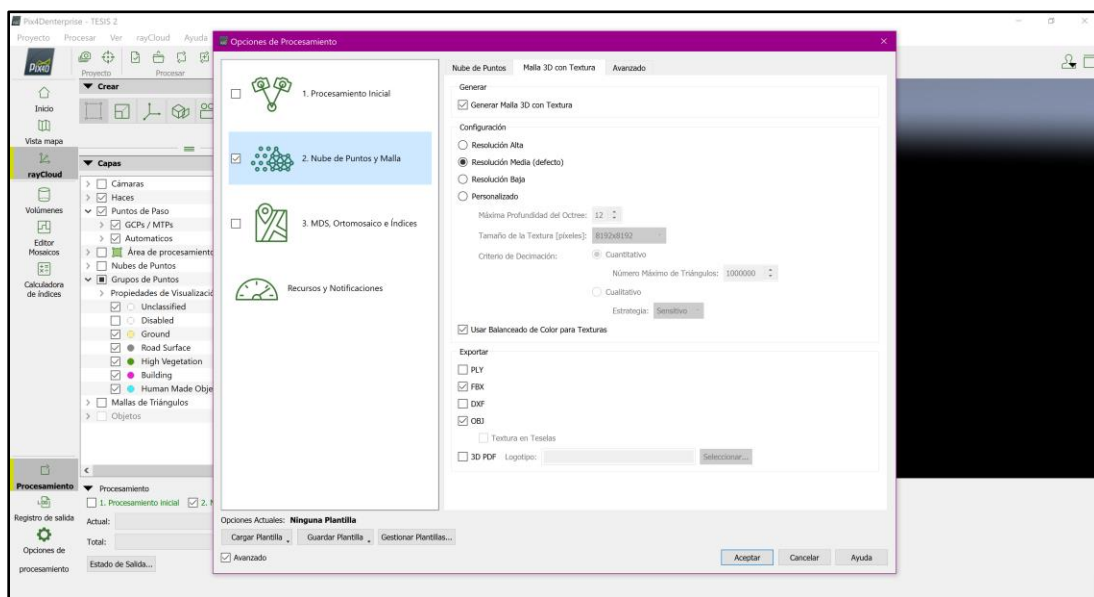


Figura 96 Opciones presentadas para la generación de mallas 3D y textura **Fuente:** Elaboración Propia.

En la ventana avanzado, la opción “tamaño de ventana de emparejamiento” es una metodología que usa el pix4Dmapper para densificar la nube de puntos, usaremos el valor de 7x7 pixeles, el cual es recomendado para imágenes tipo nadir los valores de 9x9 pixeles son usados para imágenes oblicuas, la opción grupo de imágenes la dejamos por defecto ya que estas opciones son usadas en imágenes tomadas con cámaras multiespectrales.

Las opciones de filtros para la nube de puntos, dejaremos marcada que use solamente el área marcada para el procesamiento, la parte de usar anotaciones significa que nosotros podemos marcar ciertos pixeles en las imágenes para que este no lo tome en cuenta en el procesamiento.

La opción “limitar profundidad de cámara automáticamente”, es usado para modelaciones 3D de edificios, estatuas, construcciones, pero en nuestro caso no necesitamos generar esto.

La opción “divisor de densidad de muestra”, genera triángulos en zonas donde se tiene pocos puntos 3D, densificando esa zona, pero esto puede generar mucho ruido y errores en nuestro modelo, por eso lo ideal es dejarlo en uno (véase figura 97).

Seleccionados ya todos estos parámetros marcaremos la opción aceptar, luego se hará clic en la ventana procesamiento y comenzar, esperaremos que todos los puntos se generen, el tiempo en realizar todos estos procesos dependerá de las características de la computadora.

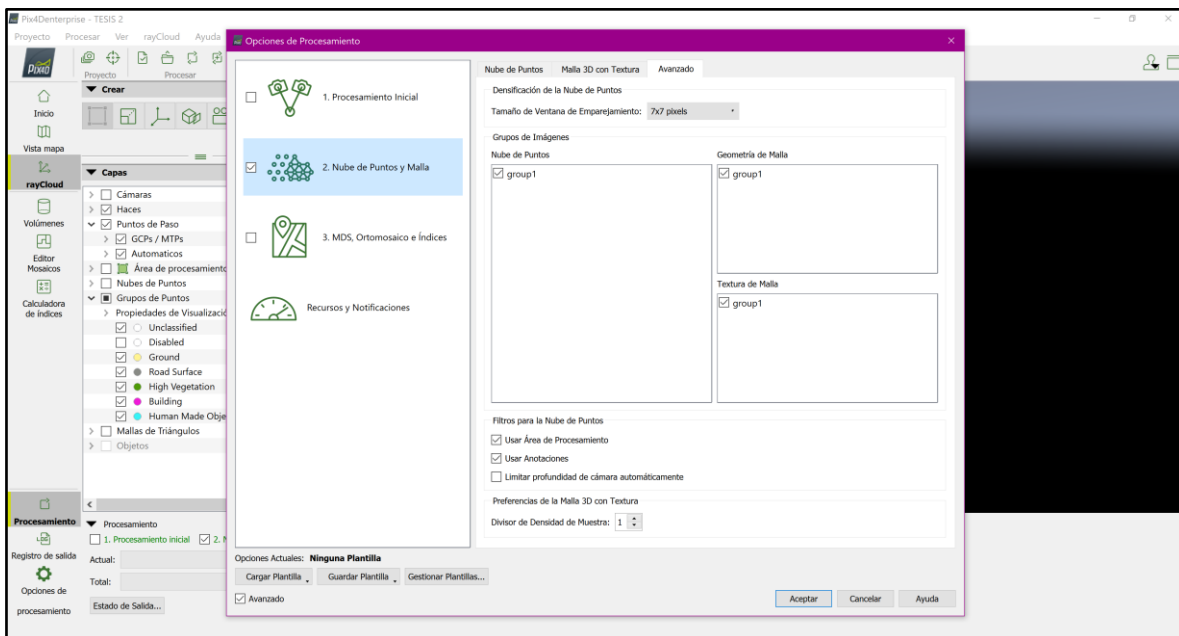


Figura 97 Opciones avanzadas para la generación de nube de puntos y malla **Fuente:** Elaboración Propia.

## 4.5. Productos a obtener del procesamiento dos “nubes de puntos y malla”.

### 4.5.1. Nube de puntos densa.

Lo que se va a obtener principalmente es una nube de puntos densa con información vectorial georreferenciada, para poder visualizar nuestra nube de puntos creada tendremos que activarla, para ello daremos clic en la opción denominada nube de puntos ubicada en la parte izquierda del software.

Se recomienda desactivar las cámaras para una mejor visualización de la nube de puntos creada para ello solamente daremos clic en la opción cámaras ubicado en la zona izquierda del software.

Con la generación de la nube dispersa se tendrá una idea de la forma del terreno, pero ahora con la nube de puntos cargada se tendrá una visualización completa de la zona de interés (véase figura 98).

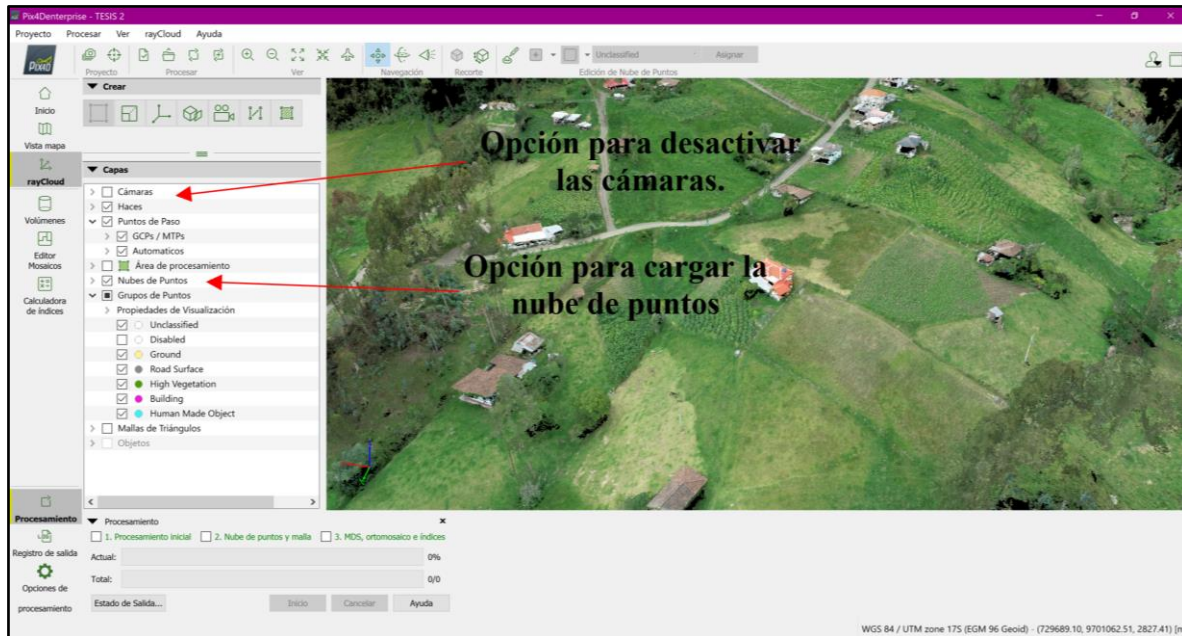


Figura 98 Visualización de la nube de puntos creada **Fuente:** Elaboración Propia.

Dando clic en la opción propiedades de visualización, seleccionaremos mostrar colores por clase para poder observar la nube de puntos clasificada, y de esa clasificación automática se irá reclasificando manualmente zonas que el software considero erróneamente y así obtener un modelo casi perfecto.

Para la clasificación simplemente activaremos la opción de edición de nube de puntos ubicada en la parte superior del software, luego se irá seleccionando las zonas deseadas y con clic derecho se marcará de rojo la zona a clasificar asignándole una clase como sería terreno, vía, vegetación, etc y así se hará para todo el modelo (véase figura 99 y100).

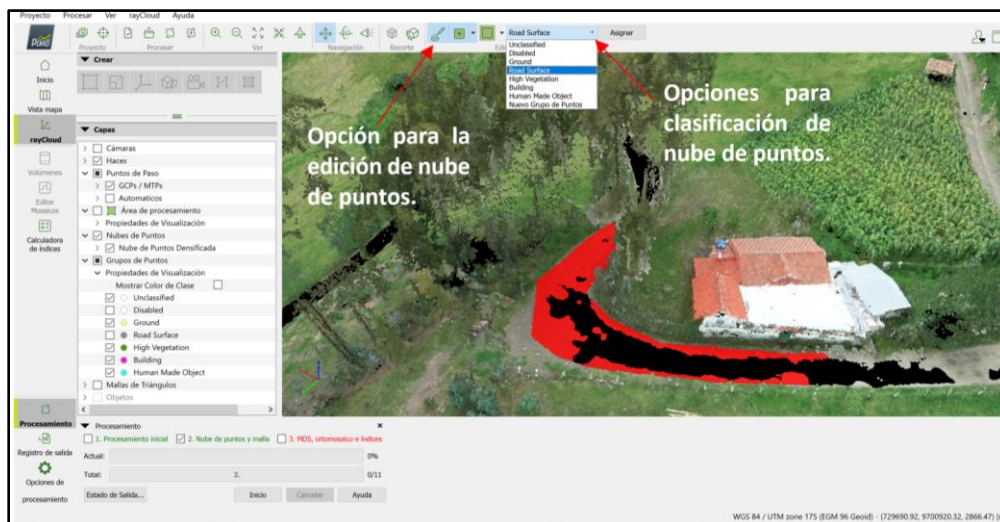


Figura 99 Proceso de clasificación de la nube de puntos **Fuente:** Elaboración Propia.

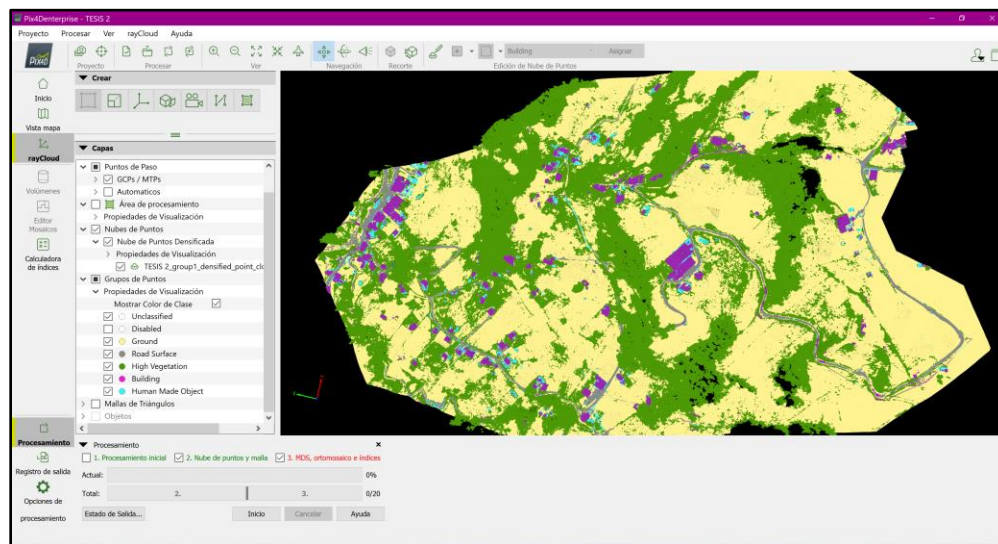


Figura 100 Nube de puntos clasificada **Fuente:** Elaboración Propia.

#### 4.5.2. Malla 3D con textura.

Otro producto a obtener es la malla 3D, la misma que rellenará los espacios en negro que nos muestra la nube de puntos, mediante triangulaciones de la zona y así poder mostrarnos un modelo 3D a detalle y calidad; obteniendo una perspectiva escalada de la zona (véase figura 101).

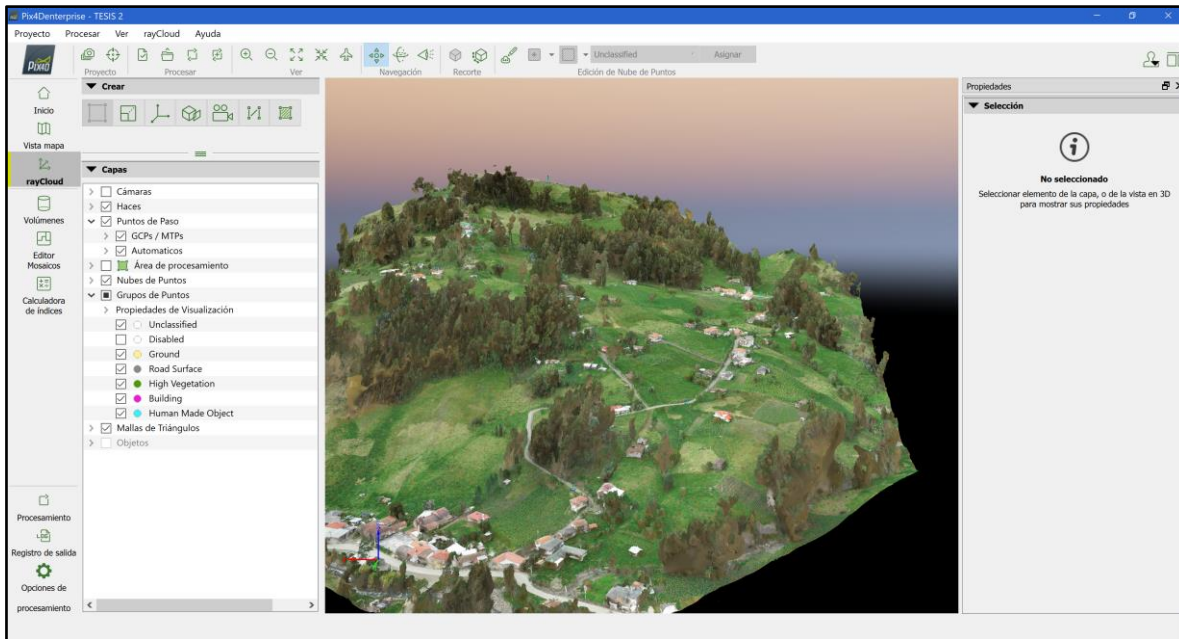


Figura 101 Modelo 3D creado mediante el programa pix4dmapper **Fuente:** Elaboración Propia.

#### 4.6. Paso tres MDS, Ortomosaico e Índices.

Finalmente realizaremos el proceso número 3, el cual este compuesto de 3 ventanas que son:

- MDS y Ortomosaico.
- Resultados adicionales.
- Calculadora de índices.

En la primera opción nos hablará de la resolución espacial que tendrá el modelo, esto quiere decir cuál es el tamaño que medirá un pixel en el DSM y el Ortomosaico; entonces lo dejaremos en automático con el valor de uno, que sería la máxima resolución que tendrá este producto en base a su GSD calculado.

En la opción de filtros para el DSM”, marcaremos la opción “usar filtro de ruido”, para que el programa no considere puntos muy elevados o muy bajos que pudo haber generado el software erróneamente.

La opción “usar suavizado de superficie” la marcaremos con un tipo de suavizado “media”, considerando que es un terreno que tiene viviendas y gran terreno, esta opción hará

que el software considere mantener ese suavizado que tendrá la vegetación las vías y los bordes agudos que presentarán las viviendas o vehículos.

La pestaña “Raster MDS”, marcaremos la opción “GeoTIFF” que es el formato que genera el programa, aquí seleccionaremos el método de interpolación para las zonas del modelo que presentan espacios vacíos, entonces el más completo sería “Ponderación de distancia inversa” dejaremos seleccionado eso y marcaremos “fusionar teselas” para asegurar que salga una imagen continua de toda la zona.

Para la generación del ortomosaico marcaremos el formato “GeoTIFF”, así mismo marcaremos “Fusionar teselas” para que el ortomosaico en caso de ser muy grande no lo divida sino se genere en un solo archivo.

No marcar la opción “GeoTIFF sin transparencia”, ya que generalmente las imágenes con ese tipo de formatos presentarán en los bordes un fondo en color negro, el software automáticamente desactiva esa banda para que al momento de visualizar la ortofoto no presente este fondo.

Si se desea exportar en ortomosaico en formato “KML” para poder visualizarlo en Google Earth, marcaremos la opción “Teselas de Google Maps y KML” (véase figura 102).

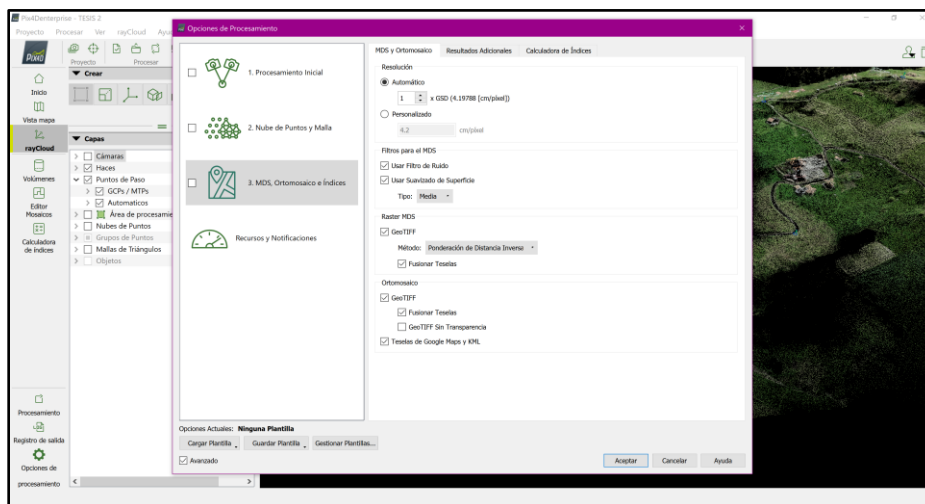


Figura 102 Opciones dadas en el paso número 3 MSD, Ortomosaico e Índices **Fuente:** Elaboración Propia.

Seguido de esto iremos a la ventana de resultados adicionales, la primera opción nos habla de la exportación del DSM, no como una imagen raster sino con puntos 3D en

diferentes formatos, no lo vamos a marcar porque no tiene mucho enfoque en la parte comercial, es más usado para temas investigativos, esto ya dependerá si el usuario lo desea sacar.

Para generar el DTM, solamente seleccionamos que la opción raster “DTM”, aquí es muy importante tener una buena clasificación de nube de puntos, para generar un correcto modelo, importante marcar “fusionar teselas”, para que nuestro DTM se genere en un solo archivo.

Por otro lado, está la resolución espacial del DTM, por defecto el software pone 5 veces su GSD, es recomendable dejarlo con esa resolución ya que el software no está optimizado para procesar este parámetro y si le bajamos este valor el tiempo de procesamiento se incrementará a gran escala; por eso es recomendable dejar por defecto este valor solamente cambiar en casos de requerimientos especiales que pidan en proyectos.

El último parámetro sería la generación de curvas de nivel, el cual usará el “MDT” generado para crear las curvas, todos los parámetros dejaremos por defecto únicamente definiremos un intervalo de alturas según sean las necesidades y requerimientos (véase figura 103).

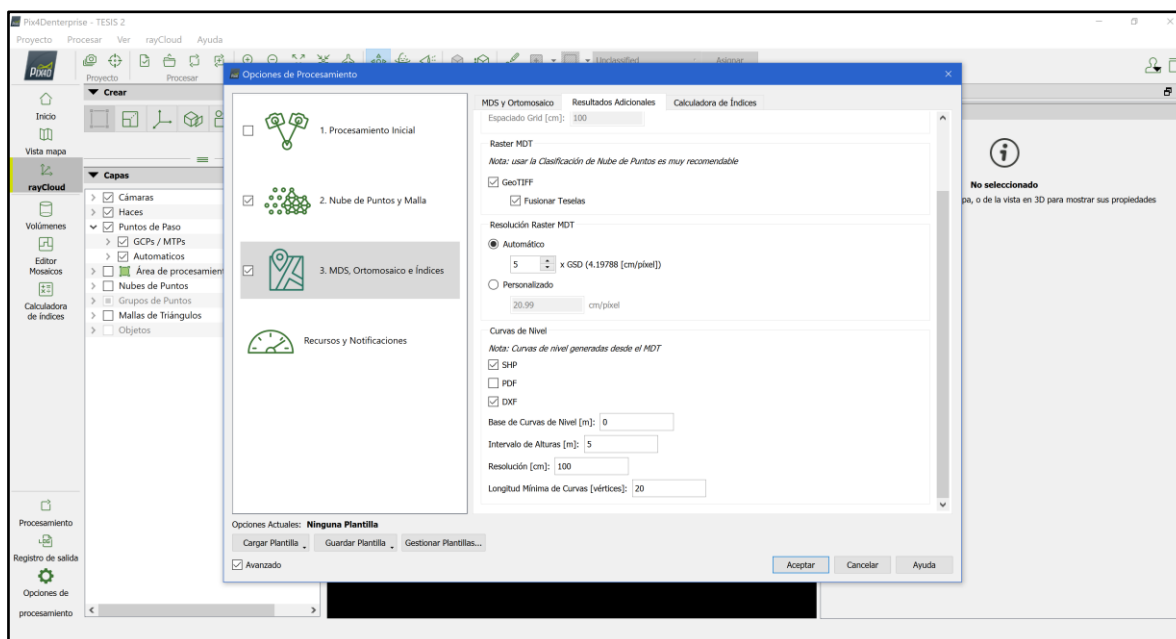


Figura 103 Opciones dadas en el paso número 3 MSD, Ortomosaico e Índices **Fuente:** Elaboración Propia.

La opción calculadora de índices no la vamos a revisar, ya que este parámetro está enfocado a temas multiespectrales, que son otros usos ya de la fotogrametría.

Antes de empezar este procesamiento en la opción de “Recursos y Notificaciones” si no vamos a usar el computador dejaremos por defecto, de no ser el caso se bajará un poco los recursos para así evitar problemas de procesamiento y que el software se cuelgue, además revisar que está marcada el uso de la tarjeta gráfica; teniendo ya estos parámetros procederemos a darle en aceptar y en la opción “procesamiento” darle a iniciar (véase figura 104).

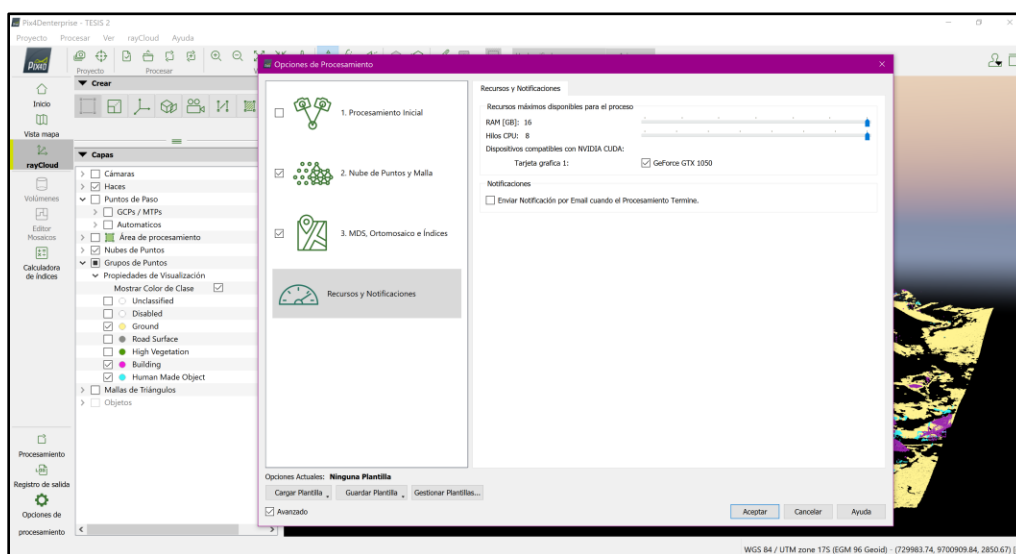


Figura 104 Opciones de Recursos y Notificaciones **Fuente:** Elaboración Propia.

## 4.7. Productor a obtener del procesamiento 3

Para poder visualizar una vista previa de estos productos marcaremos en el software la opción “Editor de mosaicos” y esperar que nos carguen nuestros productos.

### 4.7.1. Ortomosaico.

Se define como una representación del terreno en forma de fotos vista a través de proyecciones ortogonales, obtenida por medio de fotografías aéreas, mostrando una posición planimétrica verdadera de los objetos, gracias a la eliminación de escala y distorsiones de imágenes por el relieve y la inclinación mediante un proceso de rectificación diferencial [22].

La calidad con la que se generó la ortofoto y el tamaño del área que cubre, influirá en el tamaño del archivo, muchas de las veces pueden ser muy pesados superando los 5gb, como ya se mencionó será en formato .TIFF, el cual puede contener información de sistemas proyectados, elipsoides, datum y toda información geoespacial, para que este archivo pueda ser visualizado en diferentes softwares [4].

Cabe mencionar que la ortofoto está conformada por 3 bandas espectrales, las cuales son R (rojo), G (verde) y B (azul), es decir RGB; este tipo de archivo puede ser leído en diferentes softwares como son: QGIS, ArcGIS, Global Mapper, MicroStation, AutoCAD; entre otros (véase figura 105) [4].

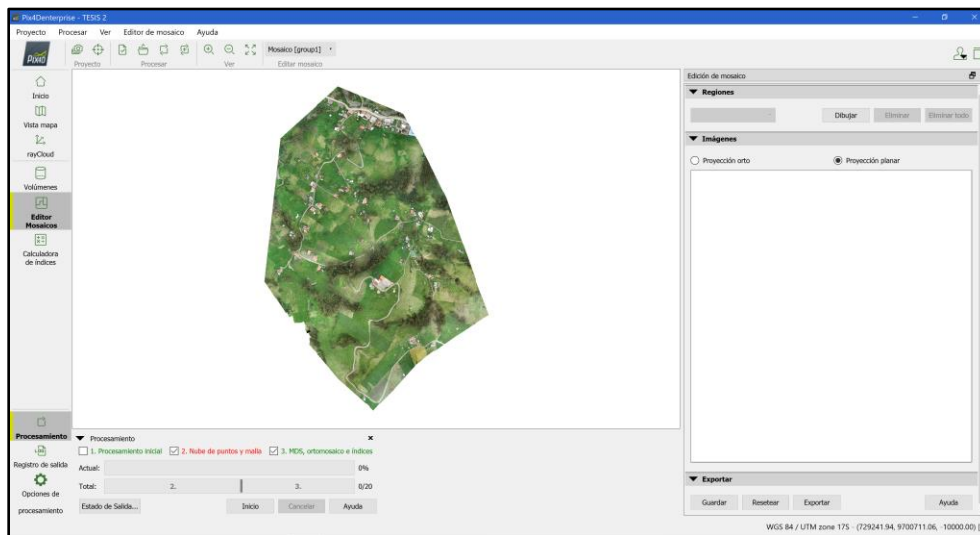


Figura 105 Ortofoto generada por el software Pix4Damapper **Fuente:** Elaboración Propia.

#### 4.7.2. Modelo digital de elevación.

Un DSM sería considerado como el modelo digital de elevación, en el cual estaría considerado todas las capas tridimensionales, para conocer las características del terreno en base a las alturas de todos los objetos presentes en el modelo (véase figura 106).

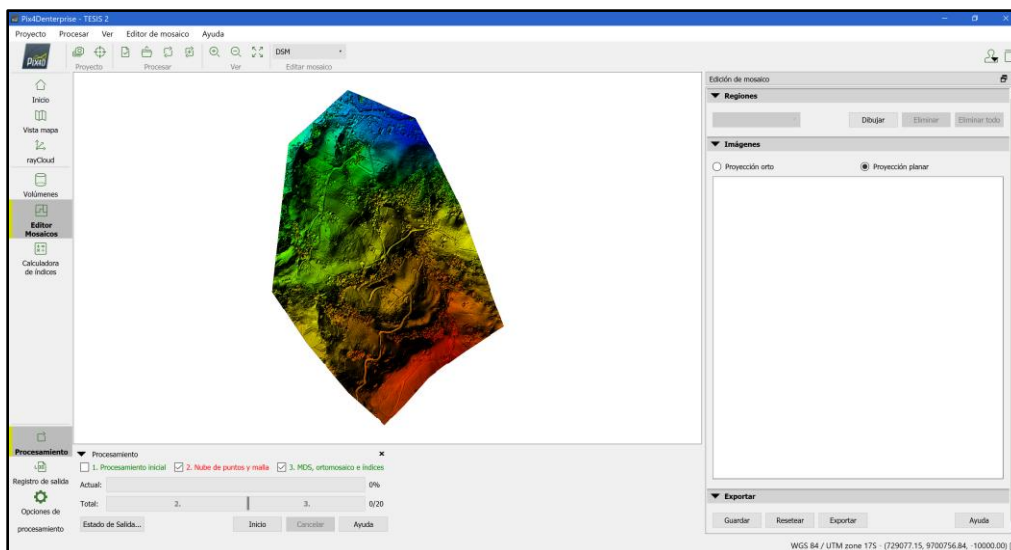


Figura 106 Modelo digital de elevación generado por el software Pix4Dmapper **Fuente:** Elaboración Propia.

#### 4.7.3. Modelo Digital del Terreno.

Un MDT es considerado como el modelo digital del terreno, aquí consideraría las elevaciones solamente del terreno, el cual usa interpolaciones para conocer las elevaciones de los lugares que carecen de información por principios de geografía, la cual considera que las cosas cercanas se parecen. Generalmente se generan las curvas de nivel con este tipo de modelos (véase figura 107).

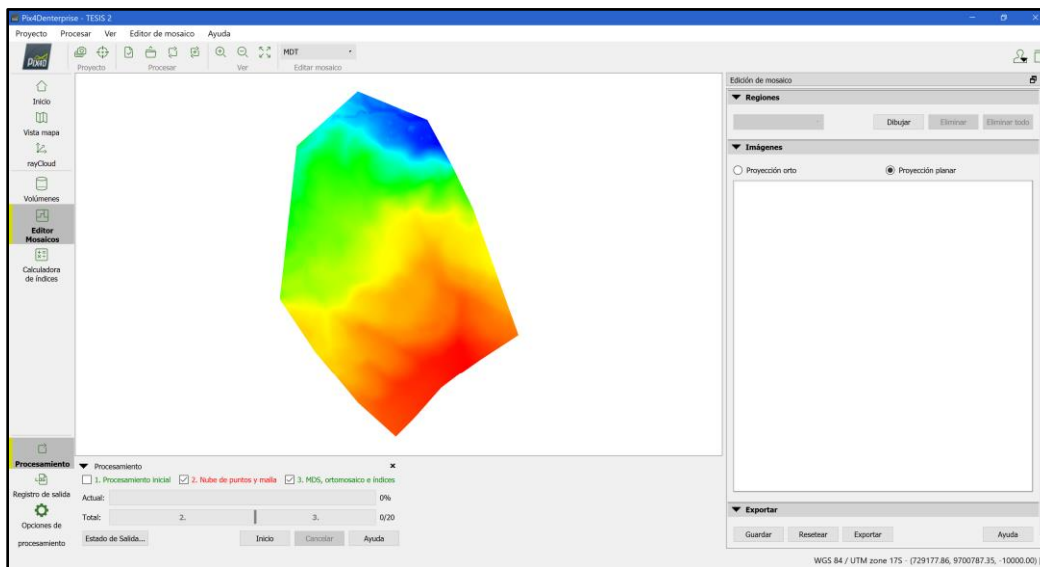


Figura 107 Modelo digital de elevación generado por el software Pix4Dmapper **Fuente:** Elaboración Propia.

#### 4.8. Exportación a programas de modelamiento 3D y tecnología de visión Artificial.

Una vez creados todos nuestros productos de fotogrametría procederemos a entrar en la carpeta que seleccionamos de destino, ahí se encontrarán todos nuestros productos creados subdivididos en 3 carpetas de acuerdo al orden en el que fueron creadas.

Entraremos en la carpeta que contiene nuestra nube de puntos en formato “.LAS,” la procederemos a copiar y pegar en otra carpeta para su posterior edición; con la finalidad de que si se daña este archivo tener el otro de respaldo.

#### 4.9. Programa MicroStation.

Este programa es uno de los líderes a nivel mundial en softwares desarrollados por la empresa Bentley usados en modelación y visualización 3D, el mismo que forma parte del género tipo CAD.

Hay que considerar que este programa es de paga con un precio aproximado de 2555 dólares anuales, o de 250 dólares mensuales, este posee una licencia de prueba gratis de 14 días (véase figura 108).

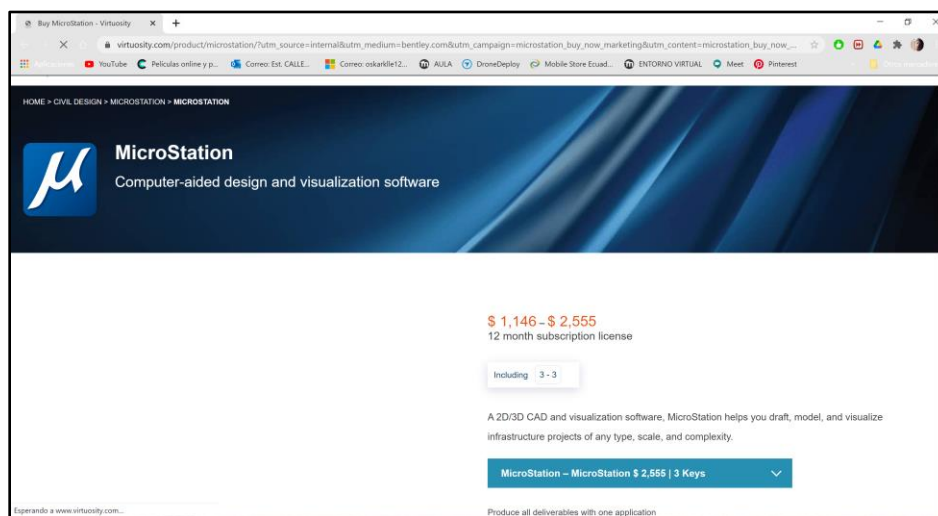


Figura 108 Valores de licencias del software MicroStation Fuente [35].

Además, su complemento de Terrasolid es necesario ser instalado para poder ser usado dentro de la rama de la fotogrametría, este complemento tiene un precio adicional.

#### 4.9.1. Exportación de la nube de puntos al programa MicroStation.

Como primer paso sería abrir el programa, el cual nos mostrará una interfase amigable donde seleccionaremos crear nuevo proyecto, seleccionaremos una ubicación donde será guardada y le asignamos un nombre (véase figura 109).

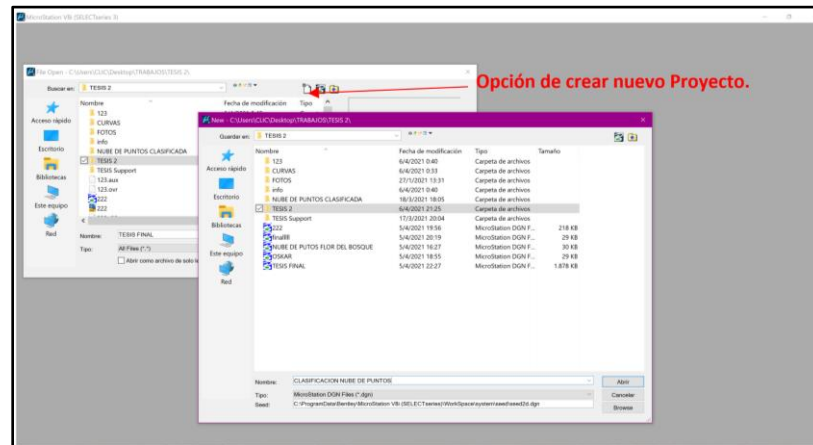


Figura 109 Método para creación de un proyecto en MicroStation **Fuente:** Elaboración Propia.

Una vez creado el proyecto nos mostrará la interfase del programa con varias pantallas en negro, para empezar a trabajar tendremos que activar los componentes del Terrasolid, para ello iremos a la opción “utilities”, nos mostrará una ventana de opciones donde seleccionaremos “MDL Applications” (véase figura 110 y 111).

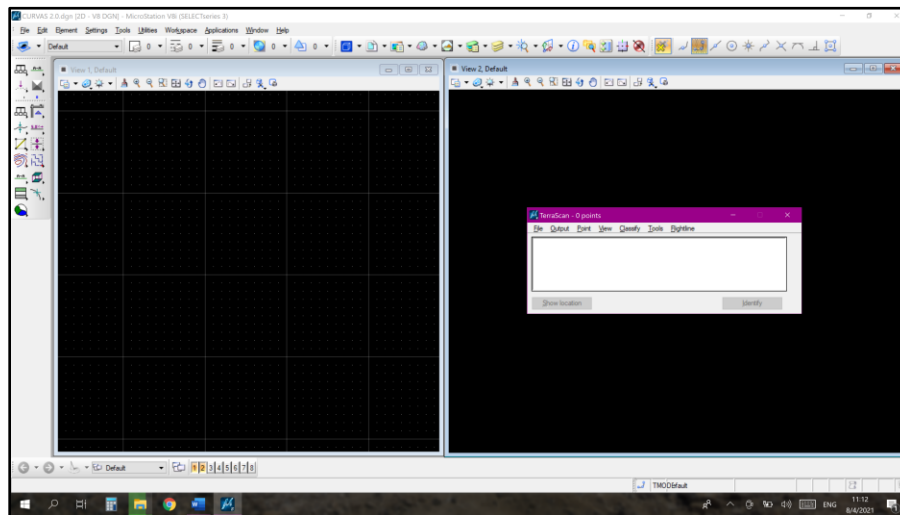


Figura 110 Interfase del MicroStation, con los componentes de Terrasolid cargados **Fuente:** Elaboración Propia.

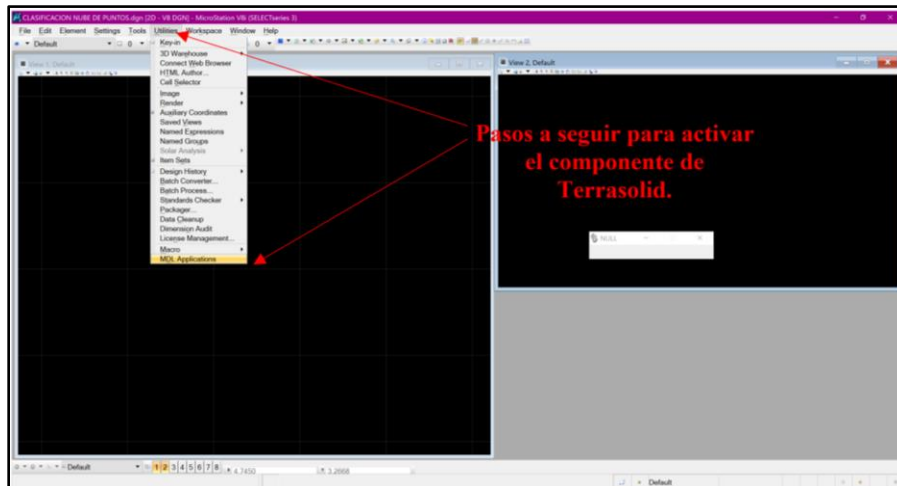


Figura 111 Opciones de activación del componente Terrasolid en el software MicroStation **Fuente:** Elaboración Propia.

Una vez que entramos en la aplicación “MDL Applications”, buscaremos los componentes de “TSCAN” Y “TMODEL” y los cargaremos, nos aparecerá una ventana emergente con diferentes opciones, además en la parte izquierda se activarán las opciones de creación y edición.

Antes de cargar la nube de puntos densa se debe activar el modelo 3D, para activarlo entraremos en la opción “models”, crearemos un nuevo modelo de tipo “desing” y marcaremos “3D”, se asignará un nombre y se dará clic en aceptar para que se nos active un modelo 3D (véase figura 112).

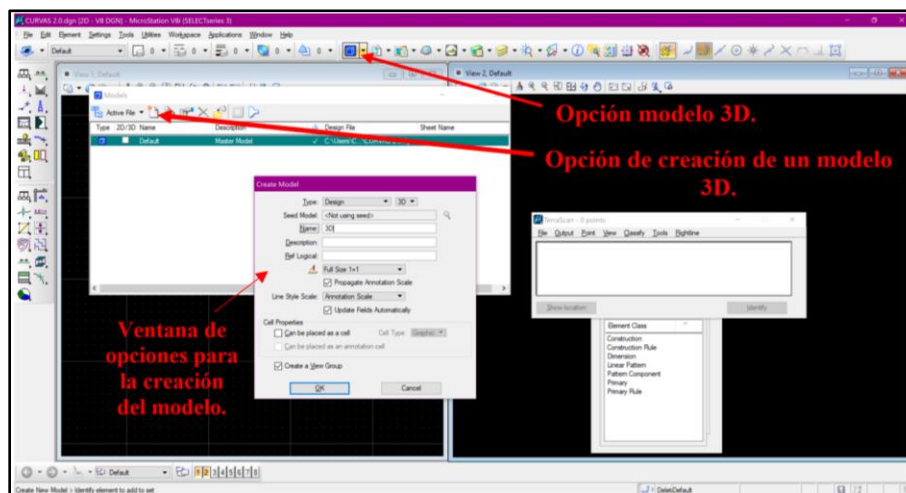


Figura 112 Creación de una vista en 3D en MicroStation **Fuente:** Elaboración Propia.

Para cargar la nube de puntos, en la ventana emergente de Terrasolid seleccionaremos la opción “file” y seguido de esto marcaremos “Read Points”, ubicaremos la ventana donde está ubicada nuestra nube de puntos y daremos en cargar (véase figura 113).

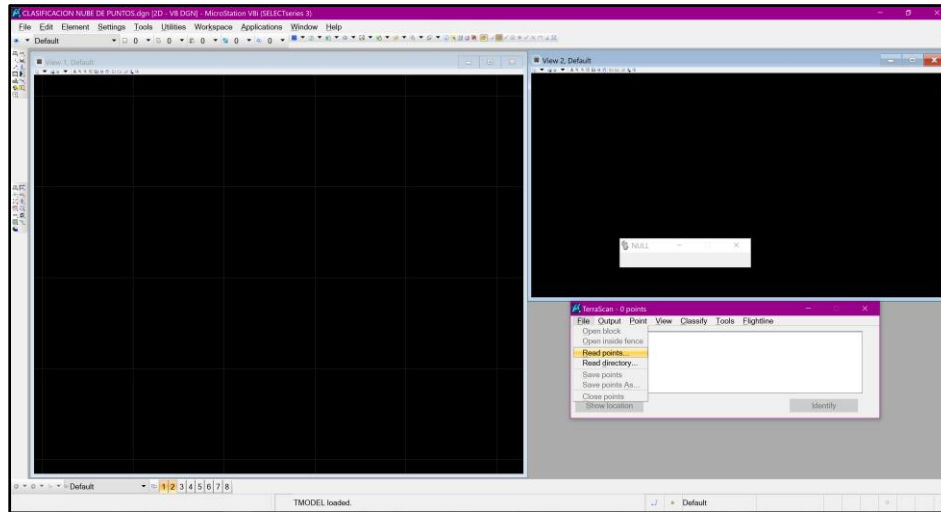


Figura 113 Proceso para la importación de nube de puntos **Fuente:** *Elaboración Propia.*

A continuación, nos mostrará una pestaña donde nos indicará el formato que tiene la nube de puntos, entonces dejaremos todo por defecto y marcaremos la opción “Ok”, para cargar nuestra nube (véase figura 114).

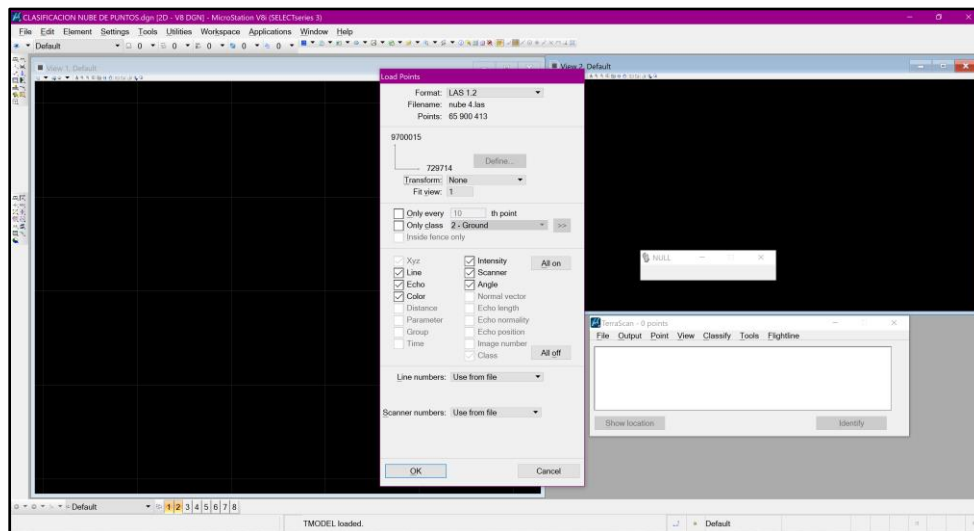


Figura 114 Opciones dadas por el software para la importación de la nube de puntos **Fuente:** *Elaboración Propia.*

Para poder visualizar de mejor manera muestra nube de puntos, podemos seleccionar la opción “view” en nuestra ventana flotante de Terrasolid, y seleccionar la opción “display mode” en ella podremos acceder a diferentes maneras de visualización, y en cual ventana queremos observar la misma (véase figura 115).

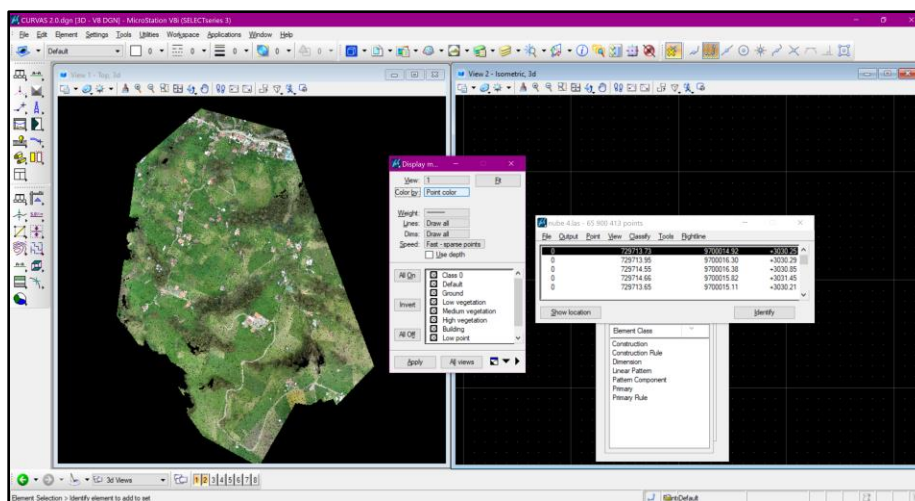


Figura 115 Tipo de vistas del mapa que ofrece el MicroStation **Fuente:** Elaboración Propia.

Para comenzar con nuestra clasificación, iremos a la opción “Classify” en nuestra ventana flotante de Terrasolid, en ella marcaremos la opción “routine” y seleccionaremos la clasificación “ground” (véase figura 116).

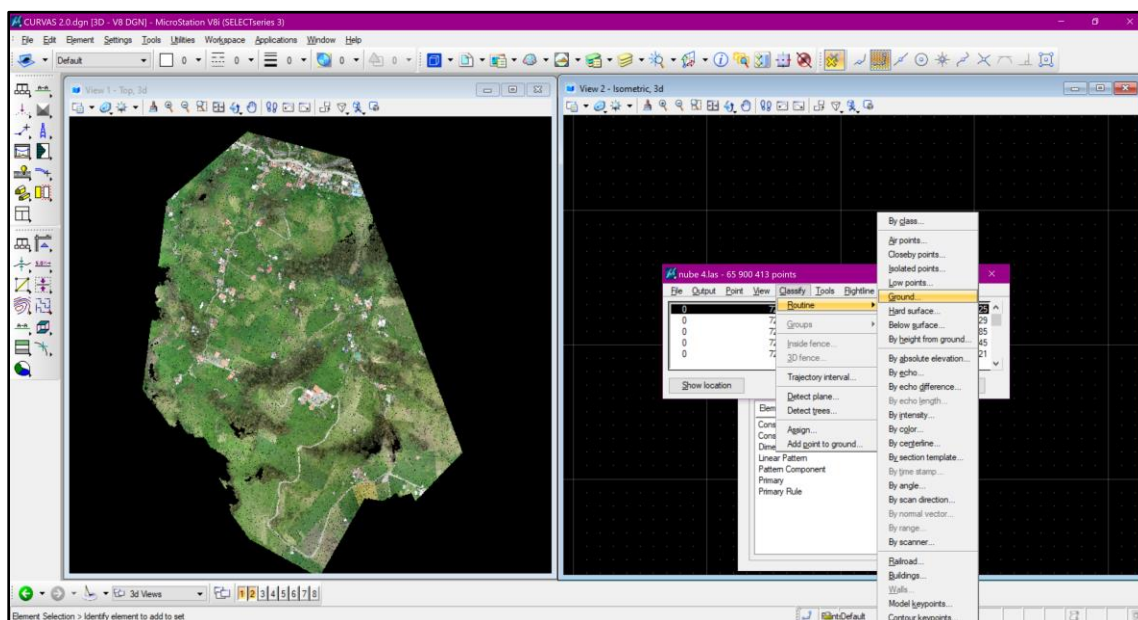


Figura 116 Procedimiento para la clasificación de la nube de puntos **Fuente:** Elaboración Propia.

Nos mostrará una ventana con diferentes opciones de procesamiento, en donde seleccionaremos que la clasificación será desde la clase cero, hasta la clase “ground” que es nuestro nivel del terreno.

La opción “Max building size” nos habla acerca de la longitud máxima de construcción que tengamos en nuestro modelo, eso ya dependerá del tipo de construcciones presentes en la zona.

La opción “terrain angle”, nos indica de la máxima pendiente presente en nuestra zona, se recomienda valores altos para terrenos con pendientes casi verticales y construcciones.

La opción más importante sería “Iteration Angle”, aquí hay que considerar que mientras en el terreno más baja sea la pendiente se deberán usar valores menores a cuatro, pero si presenta altas pendientes valores entre cero a diez, cabe mencionar que mientras más alto es este valor clasificará mayor cantidad de terreno pudiendo confundirse con vegetación baja.

El valor de “Iteration Distance”, sería considerado como el valor máximo que se le asignara a un punto sobre la superficie por lo general se da un valor bajo entre 0,5 m a 1,5m, valores mayores pueden confundir con pequeñas edificaciones.

Las demás opciones la dejaremos por defecto y aceptaremos, el programa comenzará a procesar, mostrándonos en la parte baja la cantidad de puntos que va procesando y esperamos hasta que este termine (véase figura 117).

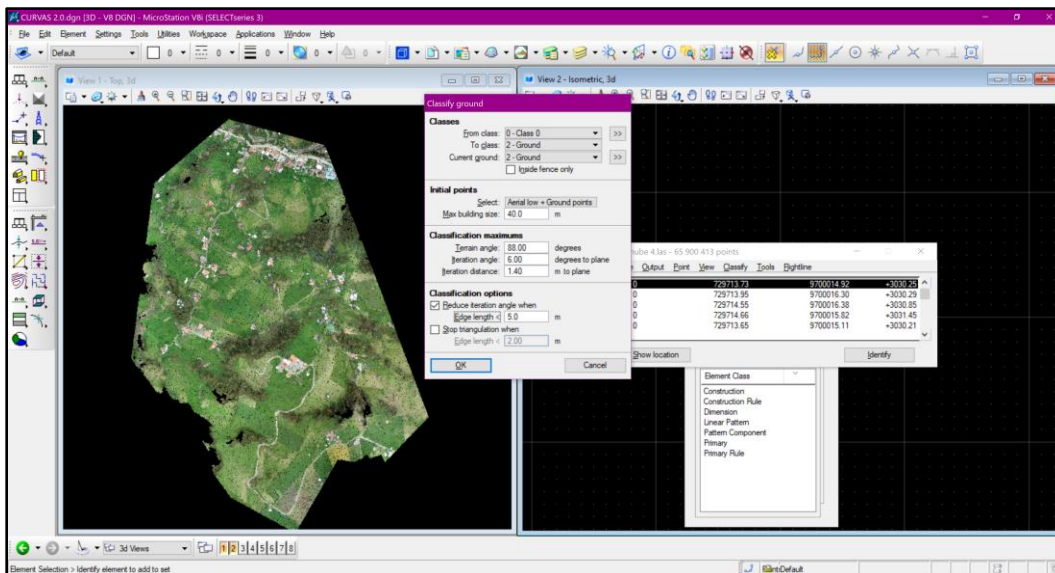


Figura 117 Opciones que debemos configurar antes de clasificar nuestra nube de puntos **Fuente:** Elaboración Propia.

Una vez terminada procederemos a cambiar la vista de la nube de puntos por clase para observar que se clasificó en terreno únicamente, para una mejor visualización podemos dibujar una sección vertical del terreno en la ventana número dos marcando la opción “draw vertical section” (véase figura 118 y 119).

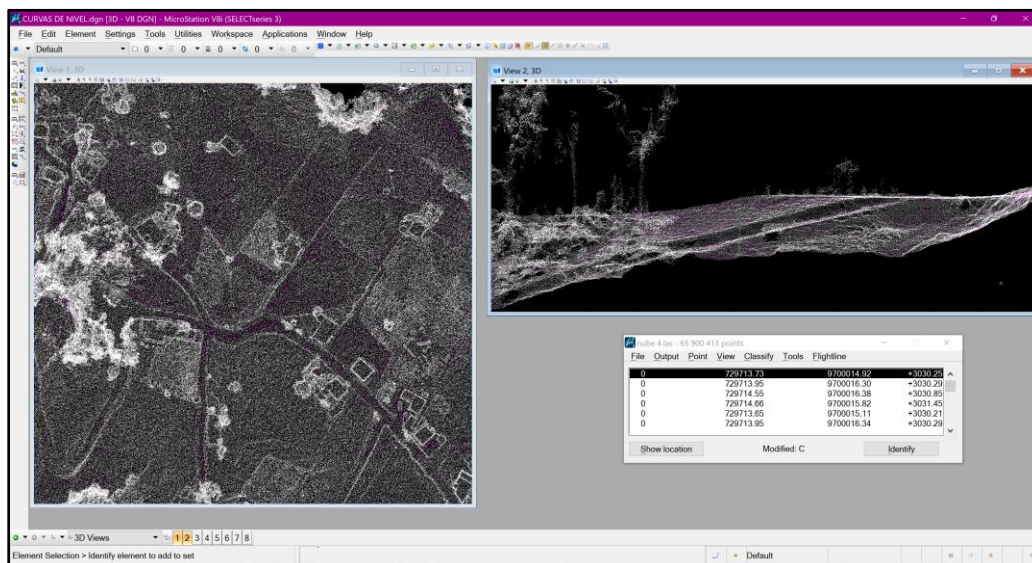


Figura 118 Visualización en diferentes ventanas de la clasificación del terreno **Fuente:** Elaboración Propia.

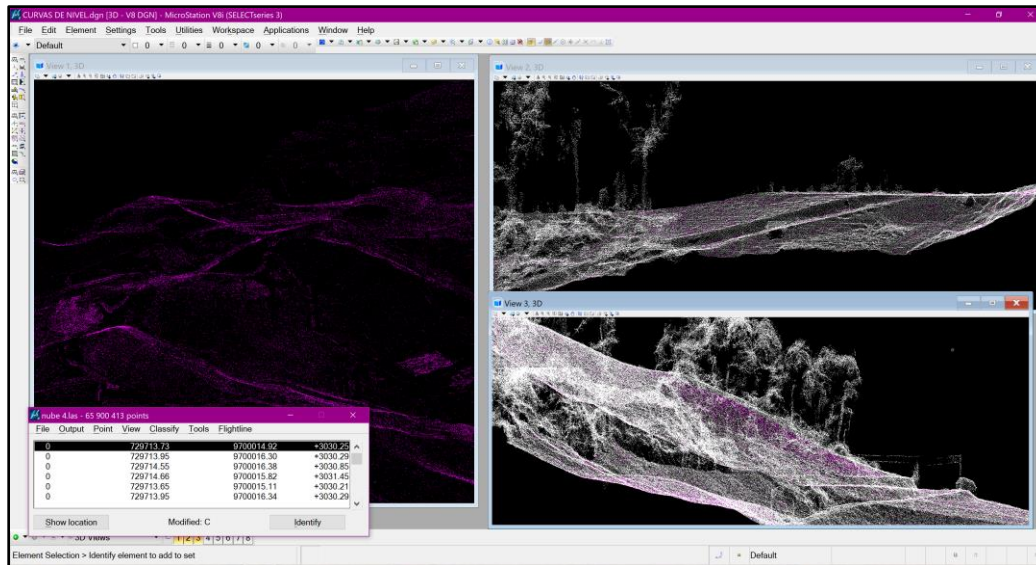


Figura 119 Visualización en diferentes ventanas de la clasificación del terreno **Fuente:** Elaboración Propia.

Una vez clasificado únicamente el terreno podemos densificar esta nube de puntos, para que el programa fluya más rápido, para ello iremos a la ventana emergente de Terrasolid y en la opción “classify” seleccionaremos “routine”, dentro de ella se tendrá que dirigir a la opción “model keypoints” la cual mostrará un cuadro donde se deberá seleccionar que clasifique desde la clase “ground” que es nuestro terreno hasta la clase model keypoints, debiendo colocar un valor de separación entre punto y punto cada cinco metros o menos, para no perder mucho detalle en la clasificación. (véase figura 120).

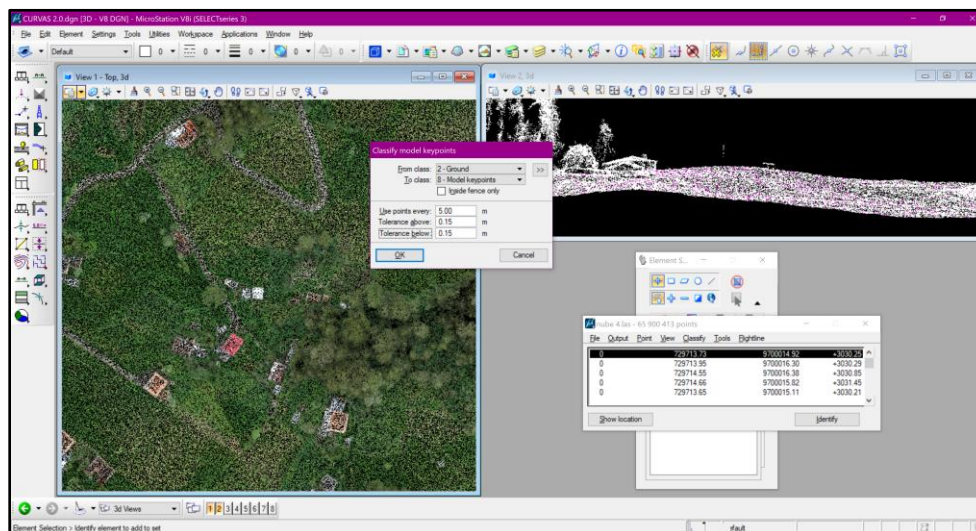


Figura 120 Proceso para densificar nuestra nube de puntos clasificada **Fuente:** Elaboración Propia.

Teniendo ya esto se procederá a crear un modelo editable mediante triangulación marcando la opción “create editable model”, nos mostrará un recuadro donde nos indicará desde cual capa vamos a crear, se seleccionará la capa número ocho “model keypoints”, que sería nuestro terreno densificado, se le asignará un nombre, clic en “aceptar” y se esperará que se cree la superficie (véase figura 121).

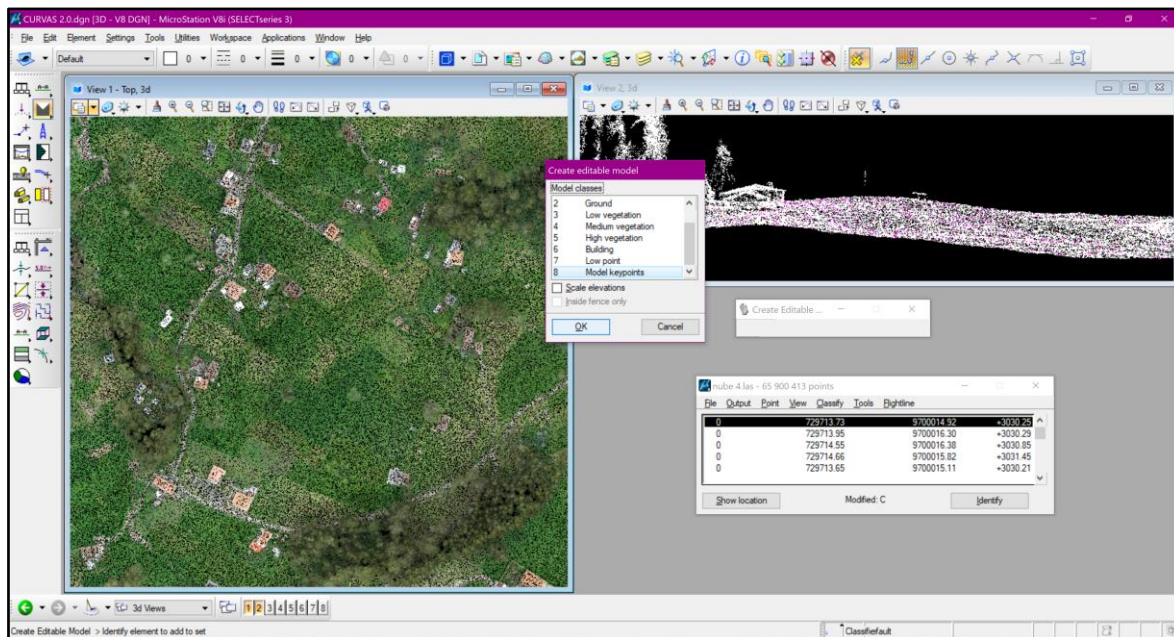


Figura 121 Proceso para la creación de una superficie en el software MicroStation **Fuente:** Elaboración Propia.

Para poder visualizar nuestra superficie creada daremos clic en la opción “display shadder Surface”, nos mostrará un cuadro indicándonos en que ventana queremos visualizar, se seleccionará la ventana uno y aceptar, nos mostrará nuestra superficie creada donde tendremos que desactivar la capa de clasificación de nube de puntos para una mejor visualización de la misma (véase figura 122).

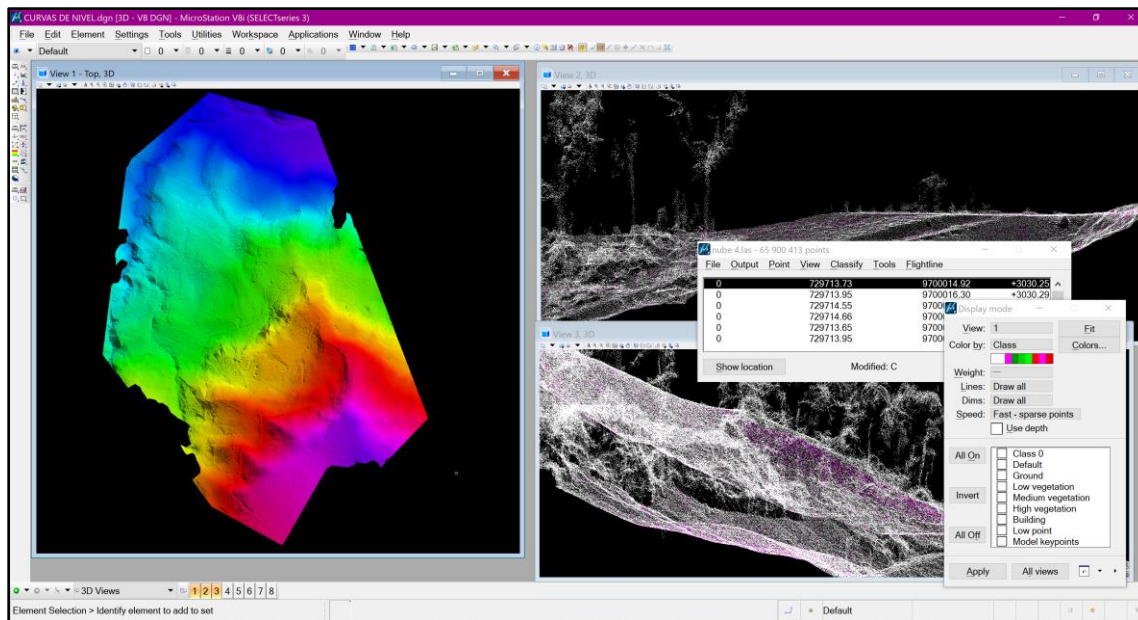


Figura 122 Superficie creada de nuestra nube de puntos clasificada **Fuente:** Elaboración Propia.

Una vez creada nuestra superficie podemos editarla manualmente eliminando imperfecciones que esta triangulación género, esto se realizará con la opción “assing points class” e iremos seleccionando todas las imperfecciones visibles (véase figura 123).

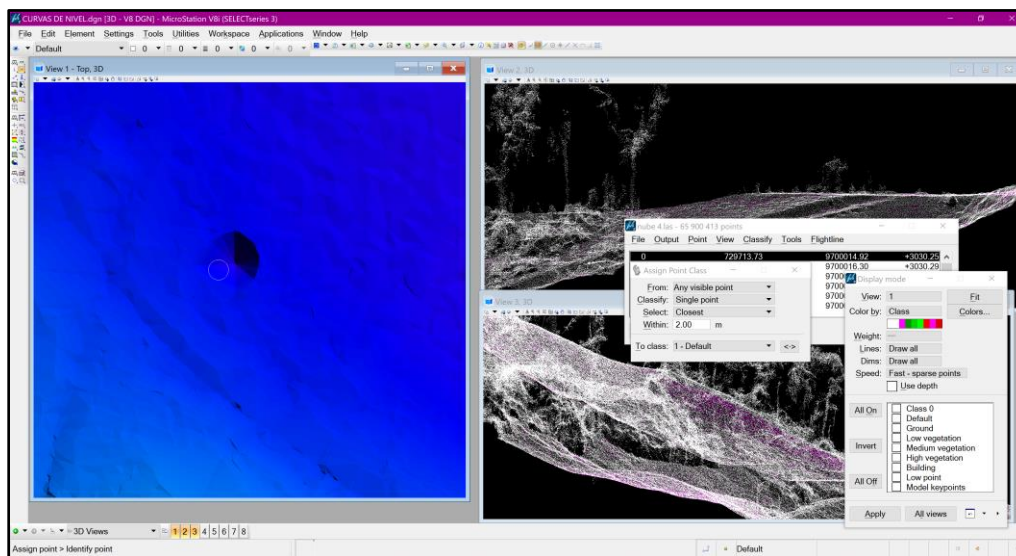


Figura 123 Proceso de corrección de errores de nuestra triangulación **Fuente:** Elaboración Propia.

Ya corregida la superficie se procederá a crear las curvas de nivel, para ello se marcará la opción “display contours” nos mostrará una ventana indicándonos los intervalos de curvas

mayores y menores asignamos este valor según sea el requerimiento y aceptamos, automáticamente se nos generarán las curvas (véase figura 124).

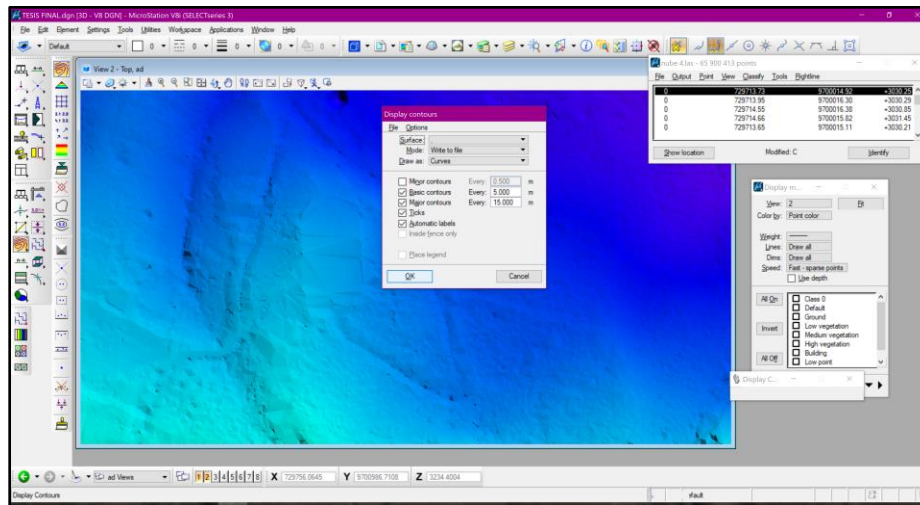


Figura 124 Procedimiento para generar curvas de nivel en el software MicroStation **Fuente:** Elaboración Propia.

Se podrá visualizar las curvas generadas en el terreno, observe en las figuras que estas se encuentran por debajo de la vegetación, por lo que nuestras curvas son confiables, entonces se procederá a exportar en formato .DWG para que sean leídas en el programa Civil3D (véase figura 125 y 126).

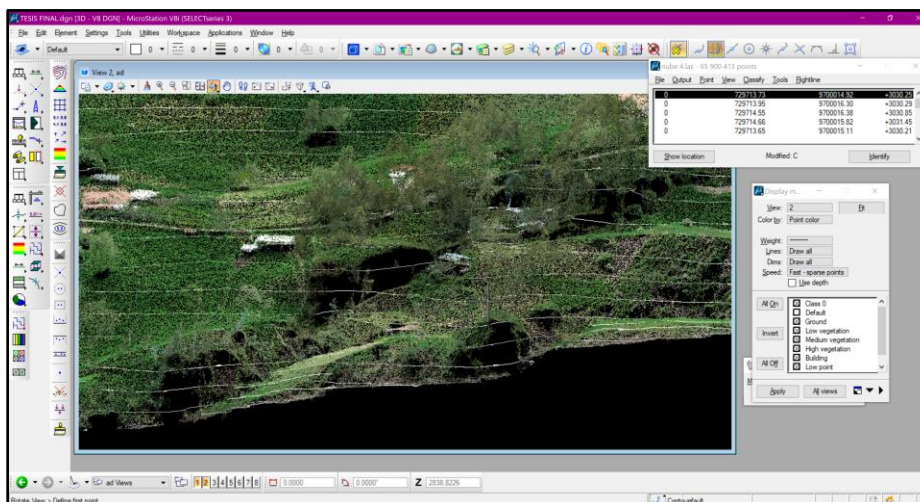


Figura 125 Curvas de nivel generadas en nuestro modelo 3D **Fuente:** Elaboración Propia.

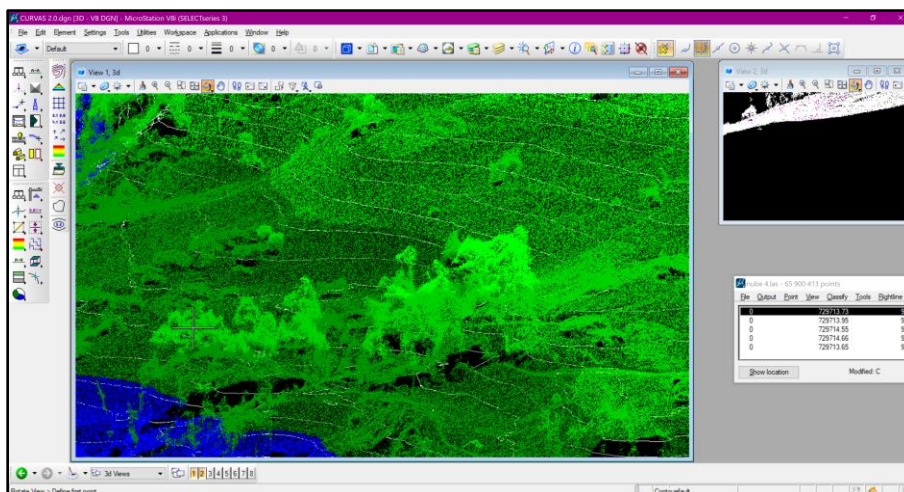


Figura 126 Curvas de nivel generadas en nuestro modelo 3D **Fuente:** Elaboración Propia.

## 4.10. Productos a obtener de este procesamiento.

### 4.10.1. Curvas de nivel.

Son consideradas como líneas que unen todos los puntos que tengan la misma elevación, para poder determinar la geometría del terreno, es decir si tiene pendientes pronunciadas o pendientes suaves, además gracias a las etiquetas de elevaciones que llevan inscritas en las mismas se puede diferenciar depresiones de elevaciones (véase figura 127). [4].

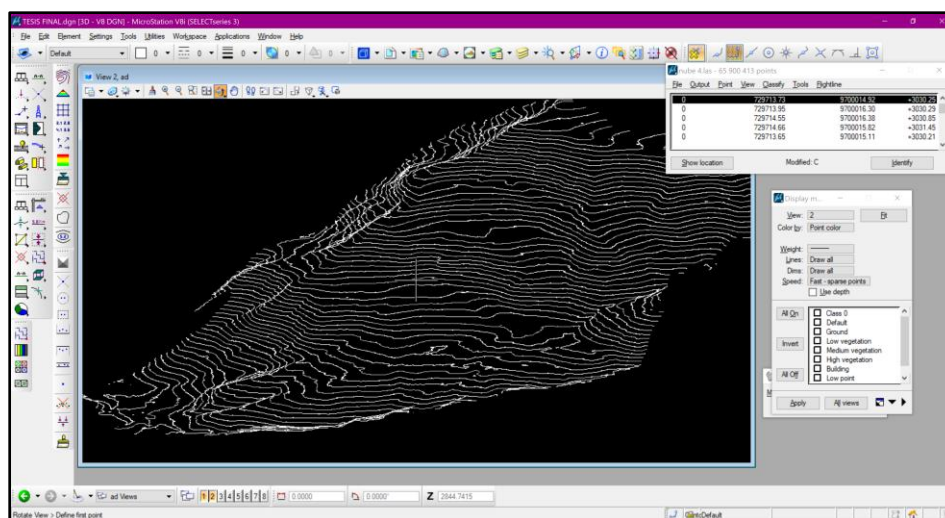


Figura 127 Curvas de nivel Creadas **Fuente:** Elaboración Propia.

#### 4.11. Creaciones de modelos 3D en realidad aumentada mediante Unity Hub.

Unity Hub es una aplicación que usa algoritmos de realidad aumentada, permitiendo cargar modelos 3D, animarlos y poder visualizarlo mediante realidad aumentada a través de diferentes plataformas y sistemas operativos.

La aplicación se podrá descargar mediante cualquier navegador, a través de la página oficial de “Unity Hub”, la cual es totalmente gratis solamente se necesitará crear una cuenta y activarla para tener acceso a ella.

Lo más importante de esta plataforma es que permitirá crear aplicaciones de realidad aumentada, que podrán ser instaladas en cualquier dispositivo inteligente mostrándonos el modelo 3D a través de la cámara del dispositivo.

Para ello se deberá configurar antes de crear un proyecto la plataforma con la que trabajará el software, dirigiéndose a la ventana principal de “Unity Hub”, ahí se deberá seleccionar la opción “installs”, seguido daremos clic en la opción “add” donde el programa pedirá que versión se desea usar y las plataformas a crear, en este caso se seleccionó “Android” (véase figura 128).

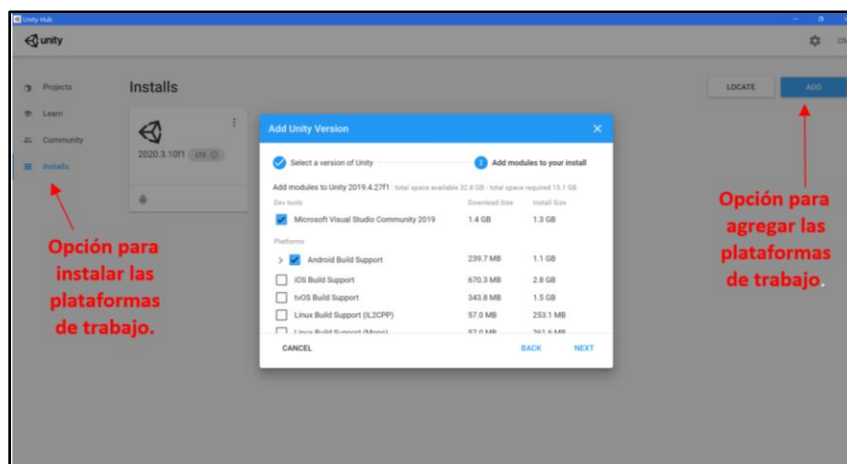


Figura 128 Creación de la plantilla de trabajo de Unity Hub **Fuente:** Elaboración Propia.

Una vez instalado el programa mostrará una interfase fácil de usar, donde para crear un proyecto se tendrá dirigir a la opción “Projects”, seleccionar la opción “new”, mostrando una ventana de información a llenar como sería: el nombre que tendrá el proyecto, la ubicación donde será guardado y el tipo de modelo a crear en este caso se creará usando la

plantilla “3D”, teniendo todos estos parámetros se seleccionará la opción “create”, se esperará que el programa inicie el proyecto esto podrá tardar unos minutos, dependiendo del tipo y características del ordenador usado (véase figura 129).

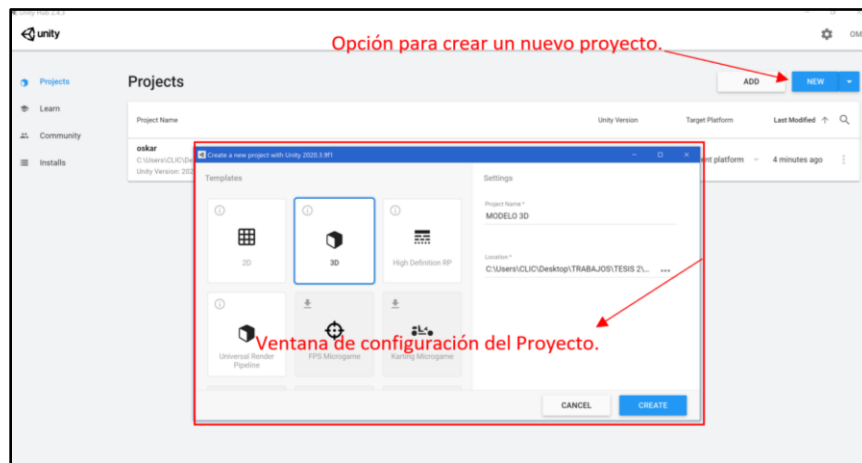


Figura 129 Opciones a seleccionar para crear un nuevo proyecto **Fuente:** Elaboración Propia.

Una vez ingresado al programa, se dirigirá a la ventana “File”, y seleccionar a la opción “Buil Settings”, la cual mostrará las diferentes plataformas de trabajo a crear en este caso se elegirá “Android”, y se dará clic en el botón “Swich Plataform”, quedando configurado la hoja de trabajo (véase figura 130).

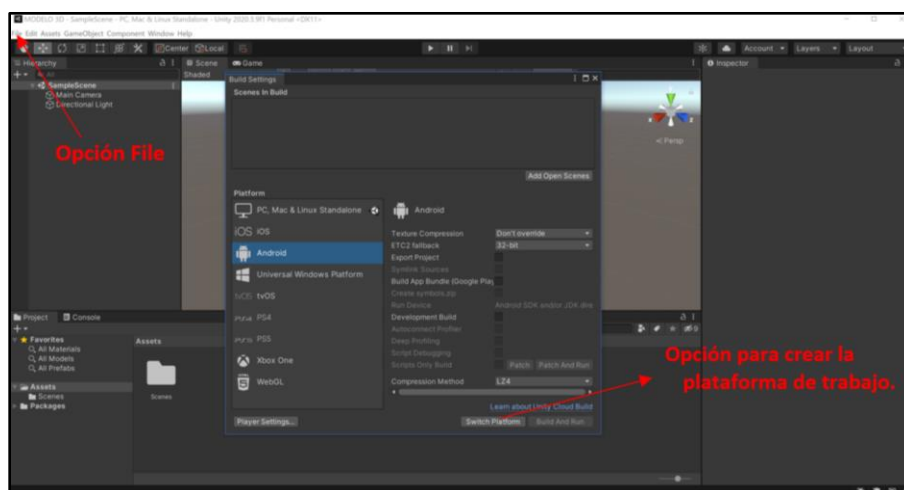


Figura 130 Interfase del programa Unity Hub **Fuente:** Elaboración Propia.

Creada la plataforma de “android” se cerrará la ventana, y se procederá a importar el modelo 3D en formato “.fbx” y su textura correspondiente, creados mediante la aplicación “Pix4Dmapper”, el complemento activador de la realidad aumentada se llama “Vuforia” el cual se instalará automáticamente al momento que se crea la plantilla de trabajo.

Para importar el modelo 3D, se tendrá que dirigir al apartado “Assets”, donde se dará un clic derecho en cualquier lugar de la pestaña mostrando una ventana con diferentes opciones, se seleccionará “Import New Asset”, mostrándonos todos los archivos presentes en el ordenador se tendrá que buscar la ubicación del archivo y cargarlo (véase figura 131).

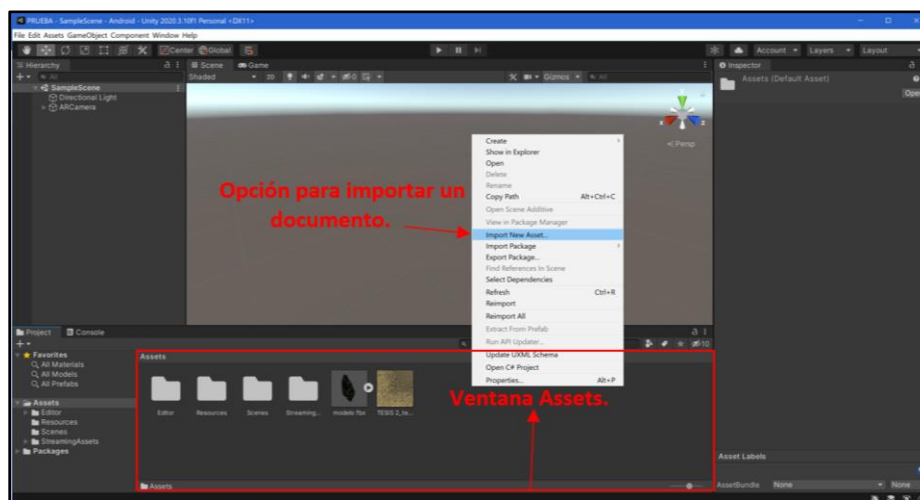


Figura 131 Diferentes opciones dentro del software Unity Hub **Fuente:** Elaboración Propia.

Una vez importado el modelo 3D, y la textura del mismo, se dirigirá la ventana de jerarquía denominada “Hierachy”, la cual será la encargada de añadirle todas las características de animación al modelo.

En esta ventana daremos se dará un clic derecho en cualquier lugar de la misma mostrando una cinta de opciones, se seleccionará el complemento “Vuforia engine” y a su vez la opción “AR camera” (véase figura 132).

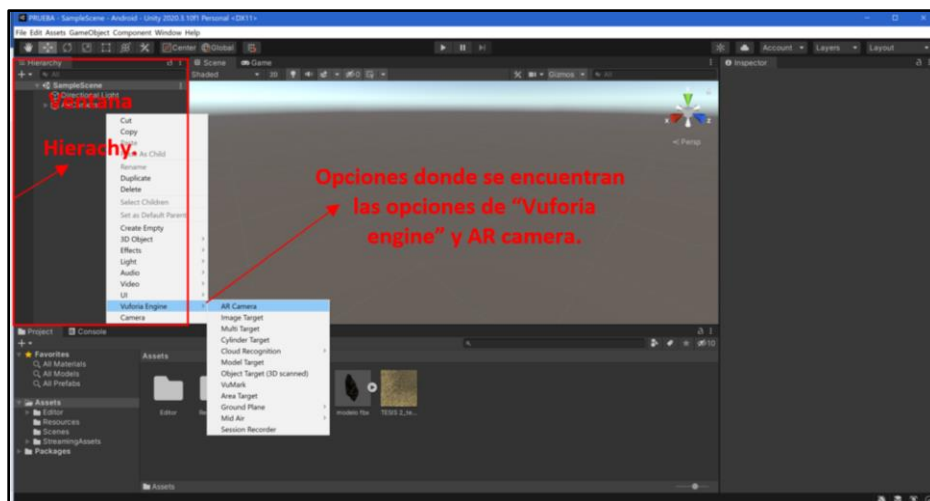


Figura 132 Diferentes opciones dentro del software Unity Hub **Fuente:** Elaboración Propia.

Una vez creada la nueva cámara, en la parte derecha del software se activará una ventana denominada “Inspector”, la cual nos servirá para activar la licencia de Vuforia, para ello dentro de las propiedades de la cámara AR mostradas, se tendrá que seleccionar la opción “open Vuforia engine configuration” (véase figura 133).

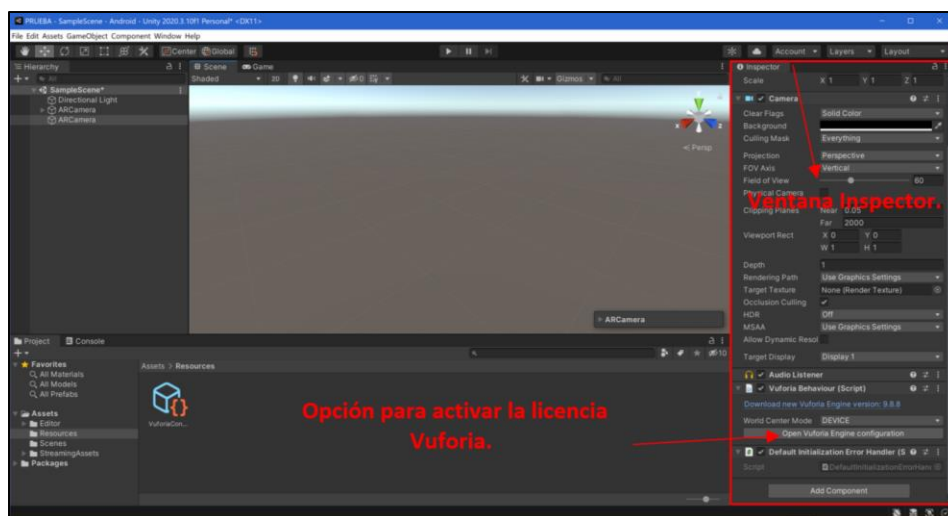


Figura 133 Diferentes opciones dentro del software Unity Hub **Fuente:** Elaboración Propia.

Seleccionada esa opción nos mostrará una ventana, en la cual se deberá pegar una clave de desbloqueo de licencia, la cual se conseguirá entrando a la página oficial de “Vuforia” desde cualquier navegador web.

Estando en la página oficial, se tendrá que crear una cuenta que es totalmente gratis, ya creada la cuenta se tendrá que dirigir a la opción “desarrollar” y en administrador de licencias, seleccionar “obtener clave de desarrollo”, donde nos pedirá asignar un nombre a la licencia y solamente se dará en aceptar (véase figura 134).

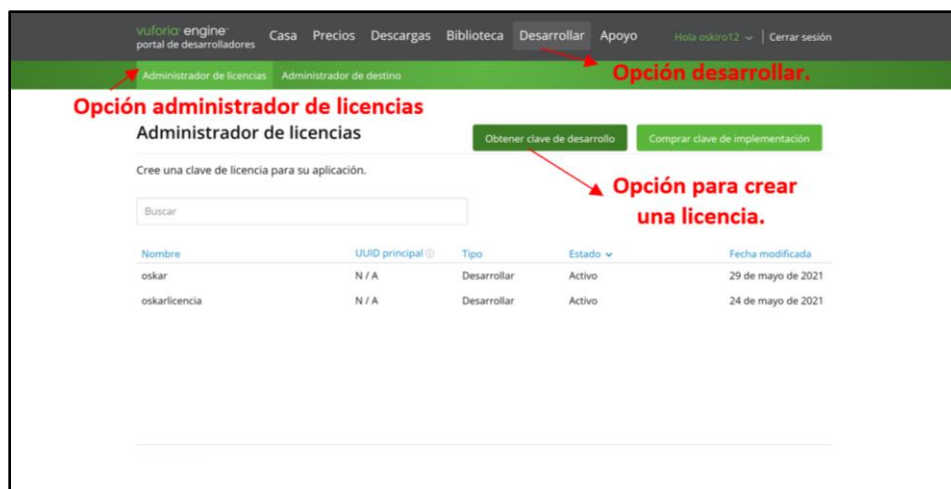


Figura 134 Creación de una licencia en la cuenta de Vuforia **Fuente:** Elaboración Propia.

Una vez creada la licencia se dará clic en la misma, mostrándonos una ventana con la clave de desbloqueo, la cual la vamos a copiar y pegar en el software “Unity Hub”, en las propiedades de activación de licencia de Vuforia mostrada anteriormente (véase figura 135 y136).

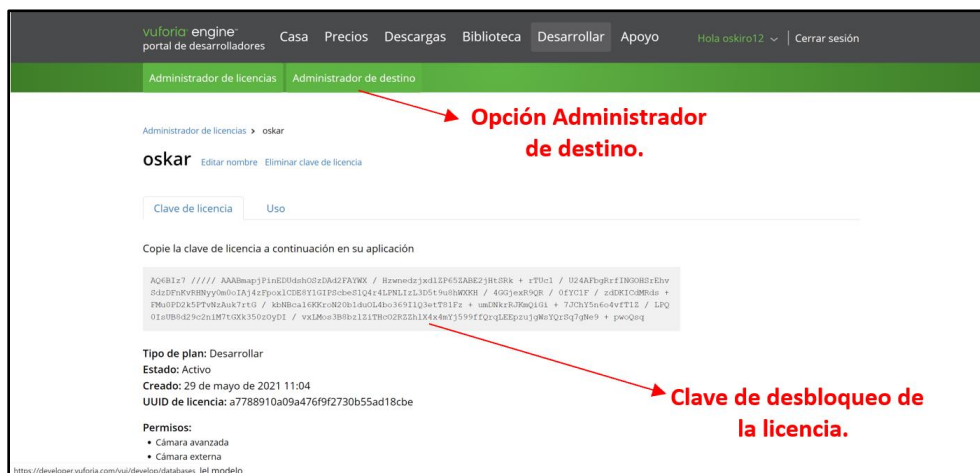


Figura 135 Creación de una licencia en la cuenta de Vuforia **Fuente:** Elaboración Propia.

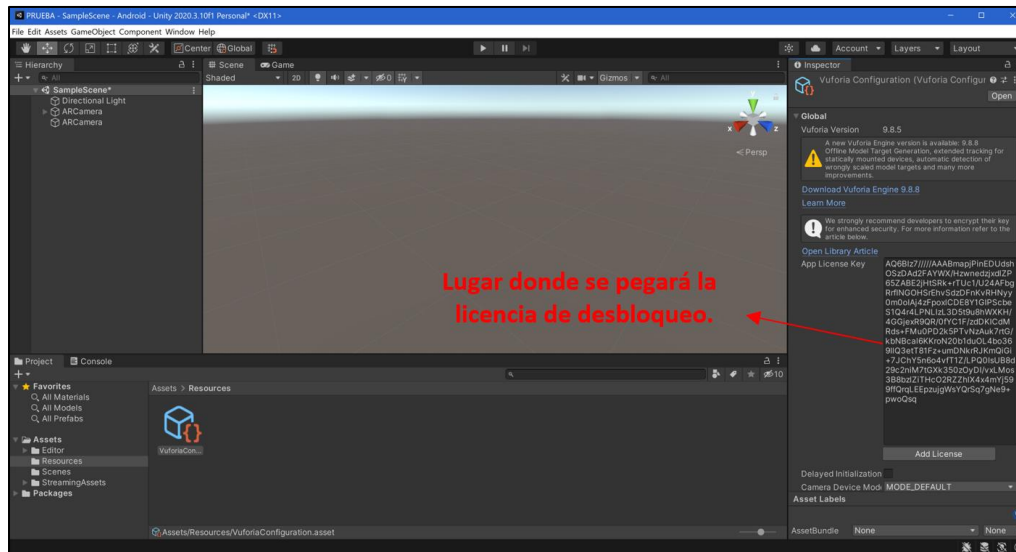


Figura 136 Opción que activa la licencia dentro del software Unity Hub **Fuente:** Elaboración Propia.

En la página de Vuforia, otro paso más a realizar será dirigirse a la pestaña “administrador de destino”, la cual nos permitirá diseñar una base de datos, que servirá como activador de la realidad aumentada dentro del programa “Unity Hub”, entonces se seleccionará la opción agregar objetos y colocaremos la imagen que se desee (véase figura 137).

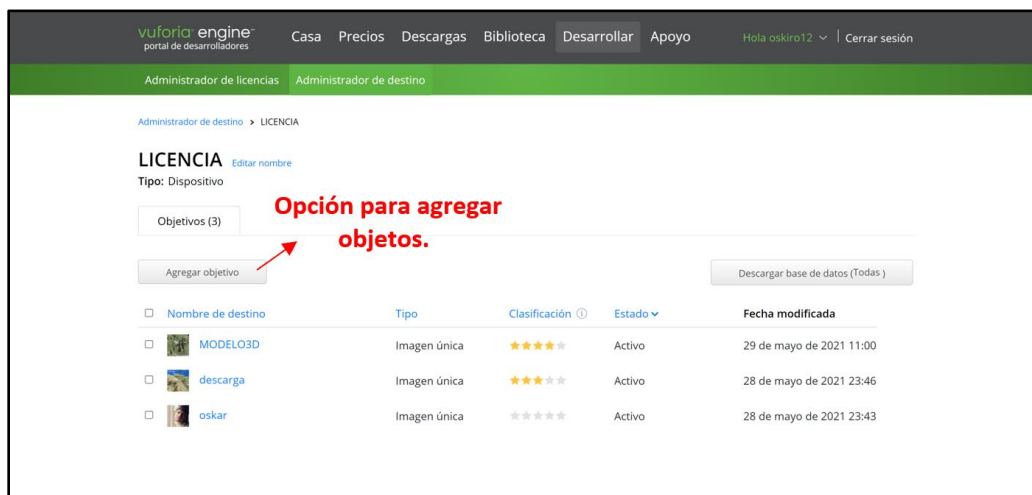


Figura 137 Agregar objetos a la cuenta de Vuforia **Fuente:** Elaboración Propia.

Al momento de agregar un objeto se seleccionará tipo imagen, se buscará la ubicación de la misma, además se le asignará un ancho, un nombre y se dará clic en agregar (véase figura 138).

Figura 138 Opciones para agregar objetos en la cuenta de Vuforia **Fuente:** Elaboración Propia.

Ya cargada la imagen correspondiente se procederá a descargar la base de datos de la misma seleccionando, el formato para que lo reconozca el software “Unity Hub”

Para cargar el archivo descargado se dará clic derecho en la pestaña “Assets” y con la opción “import unity package” se ubicará la dirección del archivo y se cargará nos mostrará una ventana con todos los complementos y solamente se le dará importar.

Ya creada la licencia de desbloqueo en la ventana “Hierachy”, se agregará una imagen, para ellos se dará clic derecho, sobre la ventana mostrándonos las diferentes opciones, se elegirá “Vuforia Enigme”, y ahí se elegirá “Image Target”. Verificar que la imagen importada, sea la misma que se cargó en la cuenta de “Vuforia” (véase figura 139).

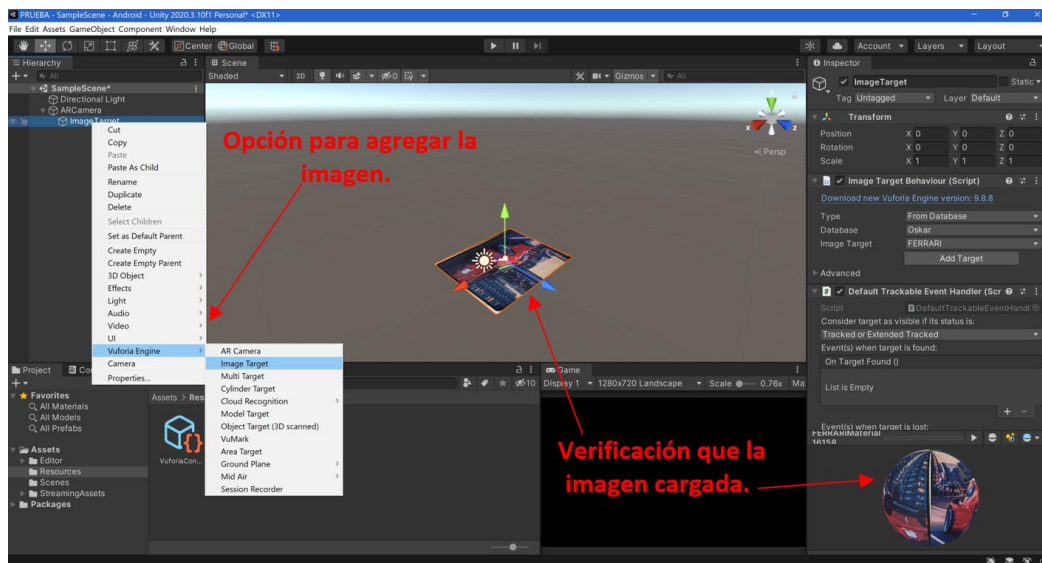


Figura 139 Opciones de creación de realidad aumentada de Unity Hub **Fuente:** Elaboración Propia.

Cargada ya la imagen se arrastrará el modelo 3D importado sobre la misma, colocándolo encima de ella de tal manera que funcione esa imagen como activador de la realidad aumentada (véase figura 140).

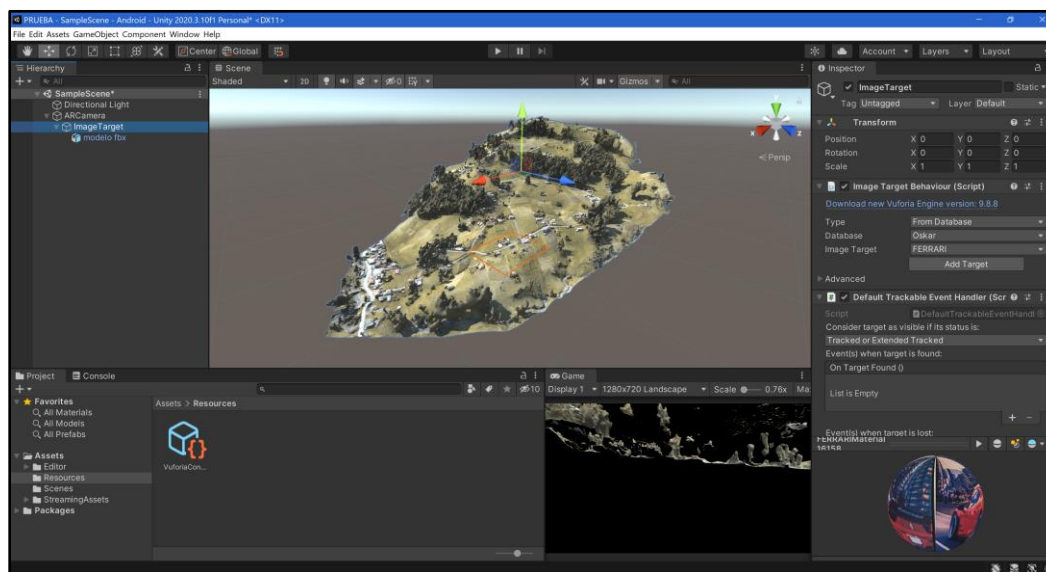


Figura 140 Modelo 3D cargado para editarse en Unity Hub **Fuente:** Elaboración Propia.

Lo último sería dirigirse nuevamente a la ventana files, seleccionar la opción “Build Settings”, y darle a correr para que se cree la aplicación en formato “.apk”, el mismo que será compatible con todas las versiones de android de los distintos celulares o tabletas inteligentes.

Se instalar el archivo, y se revisará el mismo observando a través de la aplicación, que se activará la cámara y al enfocar a la imagen activadora de la realidad aumentada se mostrará el modelo 3D (véase figura 141).

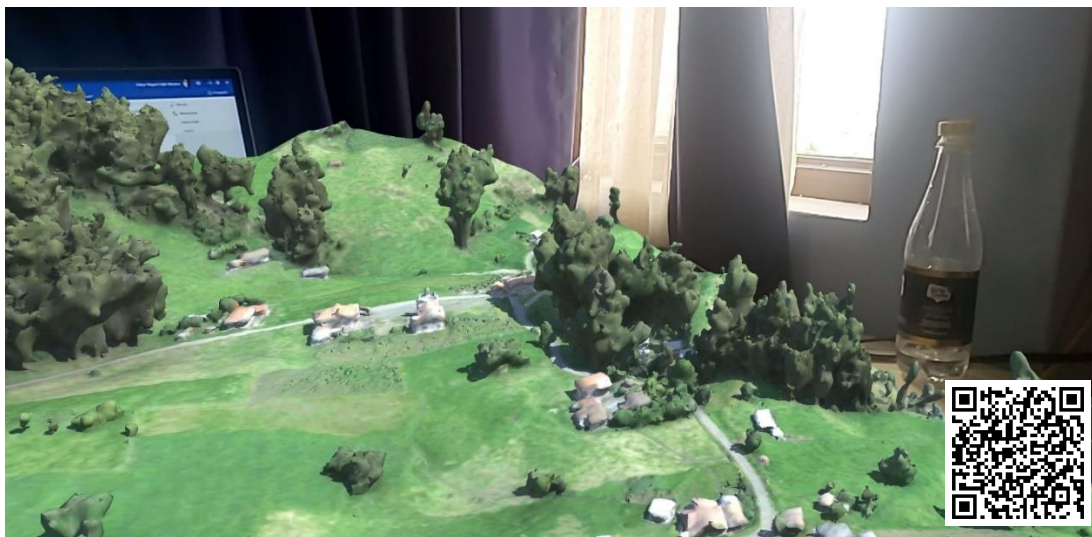


Figura 141 Terreno mostrado en la aplicación creada **Fuente:** Elaboración Propia.

## 5. CAPÍTULO V RESULTADOS FINALES.

### 5.1. Presentación de planos y Dibujos.

Una vez creados todos los productos de fotogrametría, el paso final sería crear planos de ellos para una presentación más estética, para ello vamos a usar programas como son el Qgis, y Civil3D.

### 5.2. Creación de planos en QGIS.

Qgis es un software de libre acceso que nos permite la creación de planos y capas tipo “shapefile” con una gran facilidad, en este software podremos visualizar la ortofoto MDT, MDS con gran rapidez ya que reconoce el formato .TIFF.

#### 5.2.1. Visualización de la ortofoto en qgis.

Para visualizar la ortofoto creada se ingresará al programa QGIS, seguido de esto se buscará la ubicación de la ortofoto generada mediante el programa “Pix4Dmapper”, para cargarlo solamente arrastraremos sobre el software y automáticamente se podrá visualizar el mismo (véase figura 142).

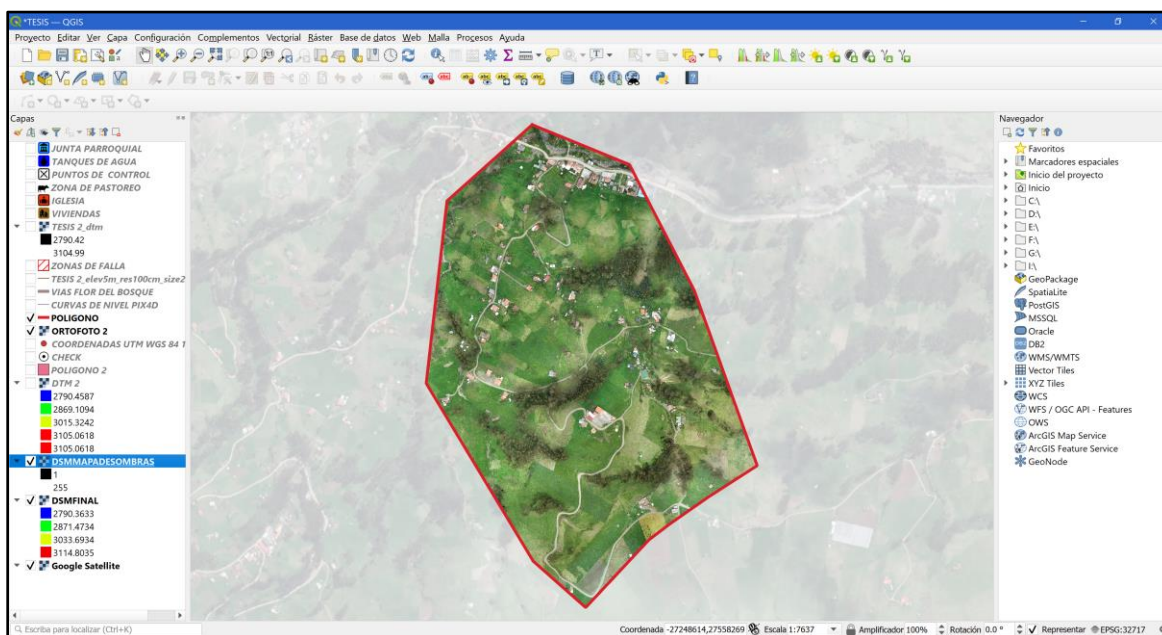


Figura 142 Ortofoto cargada en el software QGIS **Fuente:** Elaboración Propia.

Para establecer un plano de visualización de la misma crearemos en el programa una composición de impresión, donde nos aparecerá una hoja en blanco, el mismo que presenta en su parte izquierda diferentes opciones de edición para crear un plano según sean los requerimientos y gustos.

En esta plantilla de edición se cargará la ortofoto, se asignará una grilla con coordenadas, escala gráfica, un norte, y diferentes aspectos que se consideren necesarios mostrar en el plano a crear: como casas, vías, sembríos, etc. (véase figura 143).

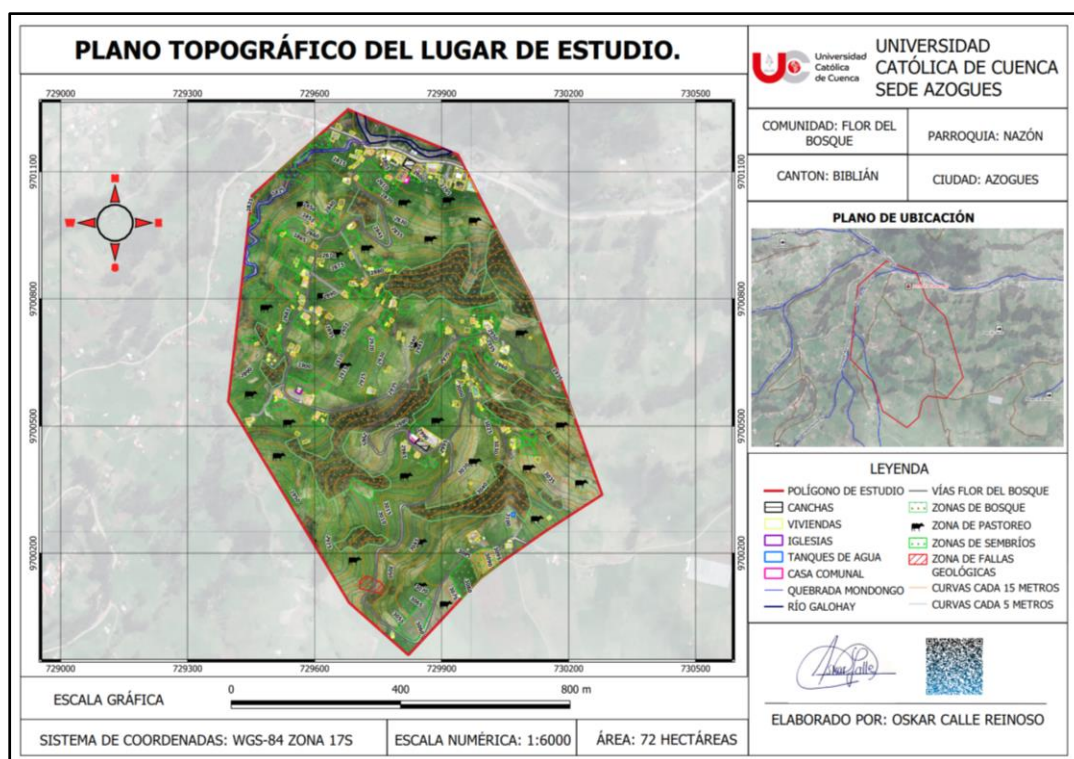


Figura 143 Creación de un plano topográfico a través del Software Qgis **Fuente:** Elaboración Propia.

### 5.2.2. Visualización de DSM Y DTM en Qgis.

De la misma manera estos 2 productos serán de formato .TIFF, así que la importación al programa es igual como se hizo la ortofoto, aquí hay que considerar que estas se cargaran en una escala a gris, por lo que habrá que hacer una reclasificación dándoles colores por elevaciones para una mejor visualización de las mismas.

Para que el DSM, se pueda observar tal y como se visualizó en el software pix4Dmapper, hay que hacer un análisis raster, para la creación de un mapa de sombras “hildshade”. El cual nos mostrara en gran detalle nuestro DSM importado (véase figura 144).

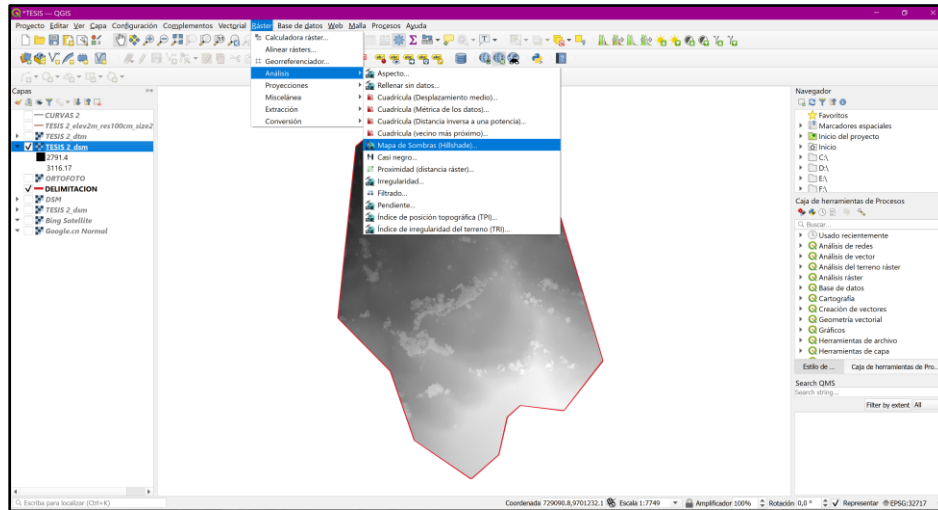


Figura 144 Creación de un mapa de sombras del DSM, para una mejor visualización del mismo **Fuente:** Elaboración Propia.

Para la clasificación tanto del DSM, como del DTM, tendremos que entrar a las propiedades de cada uno de ellos asignarles una escala de colores según sean sus alturas (véase figura 145 y 146).

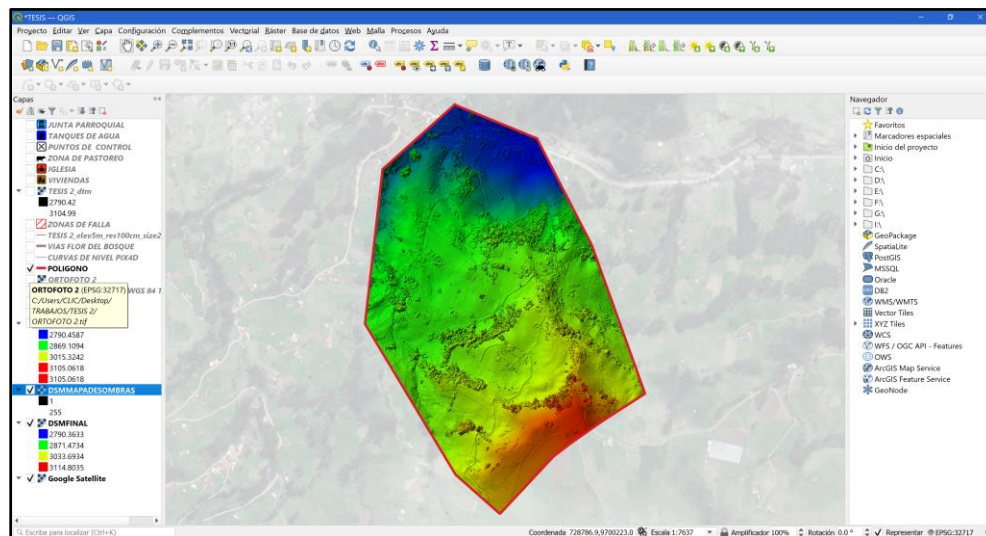


Figura 145 DSM clasificado por medio del software Qgis **Fuente:** Elaboración Propia.

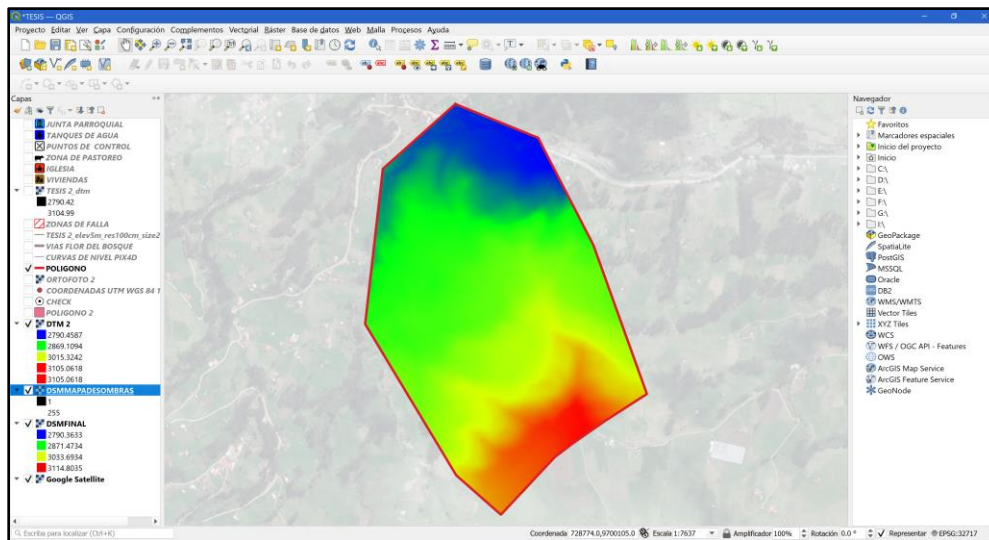


Figura 146 DSM clasificado por medio del software Qgis **Fuente:** Elaboración Propia.

Teniendo esto se procederá a crear las hojas composición de impresión, de igual manera como se hizo en la ortofoto según las necesidades y requerimientos deseados (véase figura 147 y 148).

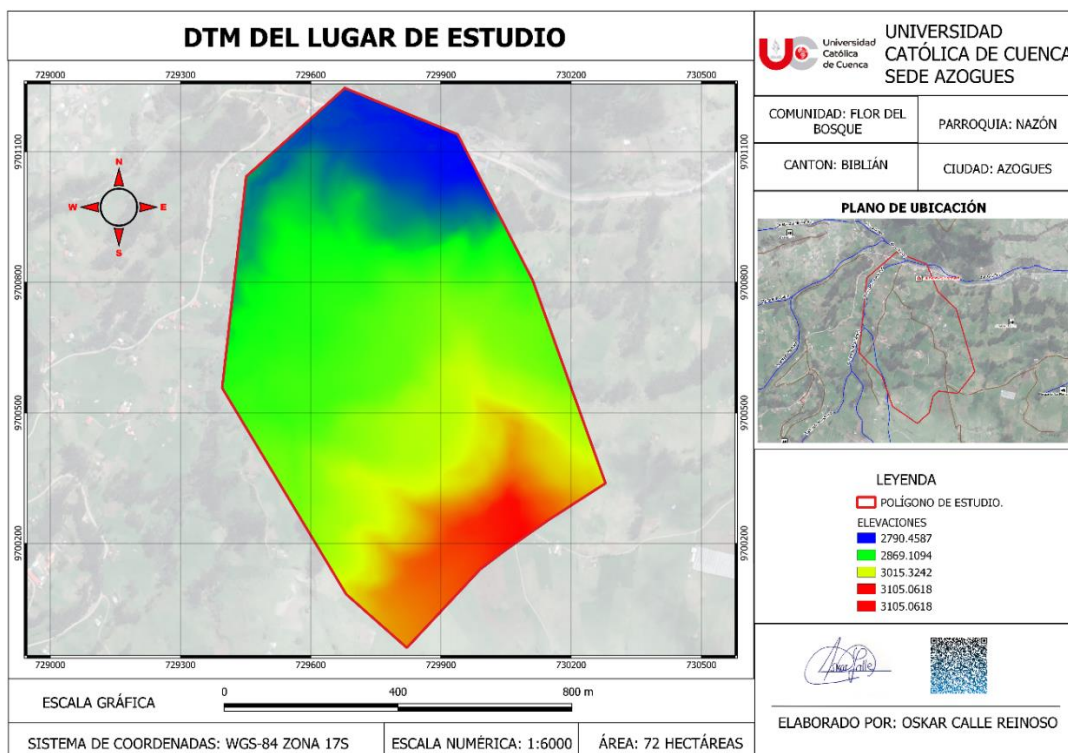


Figura 147 Creación de un plano a través del Software Qgis **Fuente:** Elaboración Propia.

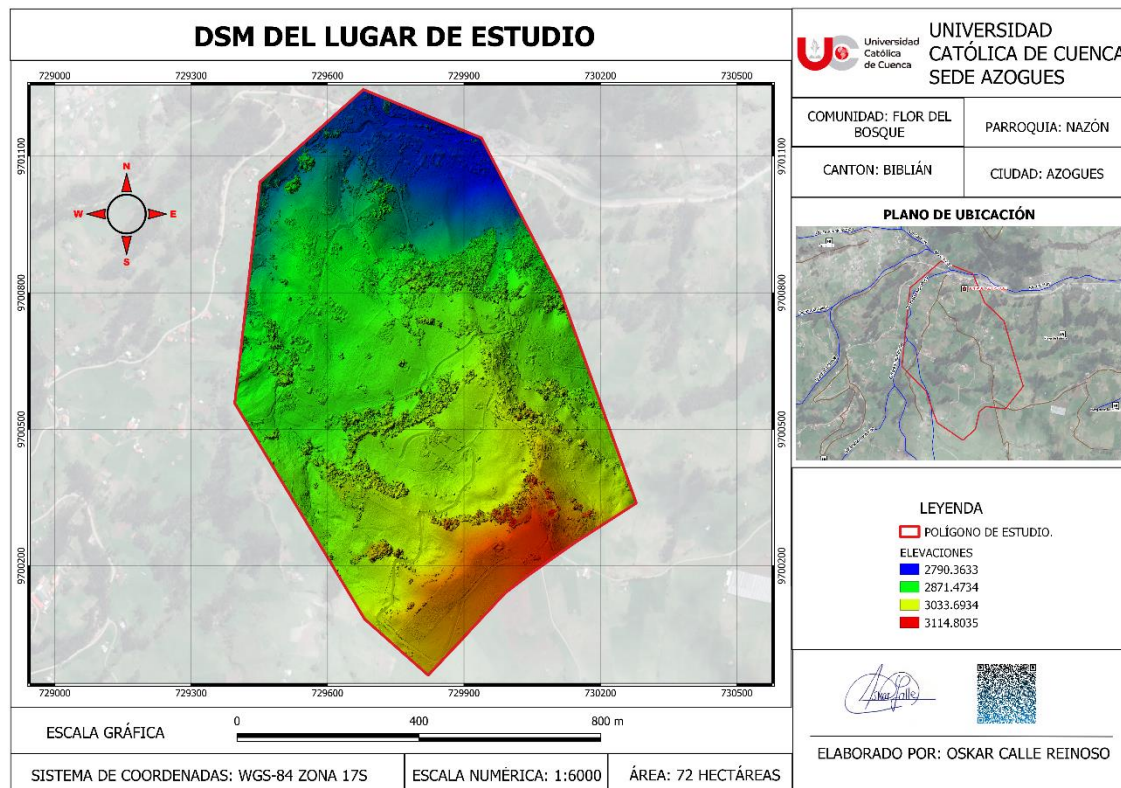


Figura 148 Creación de un plano a través del Software Qgis **Fuente:** Elaboración Propia.

Además, a través del software ArcMap, podremos cargar el DSM generado exportándolo a la vista 3D denominada “Arcscene”, en la cual se podrá crear un plano 3D, con las elevaciones presentes en el DSM importado (véase figura 149).



Figura 149 Plano 3D generado a través del software ArcGIS **Fuente:** Elaboración Propia.

### 5.3. Comparación de las curvas de nivel creadas en Pix4D y MicroStation.

Las curvas de nivel generadas en los 2 softwares serán cargadas en el programa QGIS, para poder editarlas, aunque estas ya nos mostrarán toda la información necesaria como son las cotas de elevaciones y entonces solamente sería de realizar un plano de las mismas, aquí ya dependerá del tipo de formato requerido para su presentación y edición.

Se procede a cargar las curvas de nivel, observando que existe gran similitud entre ellas, (véase figura 150), pero las curvas generadas con el programa de “MicroStation” presentan un mejor suavizado por lo que serán las usadas para la creación de los diferentes mapas y planos.

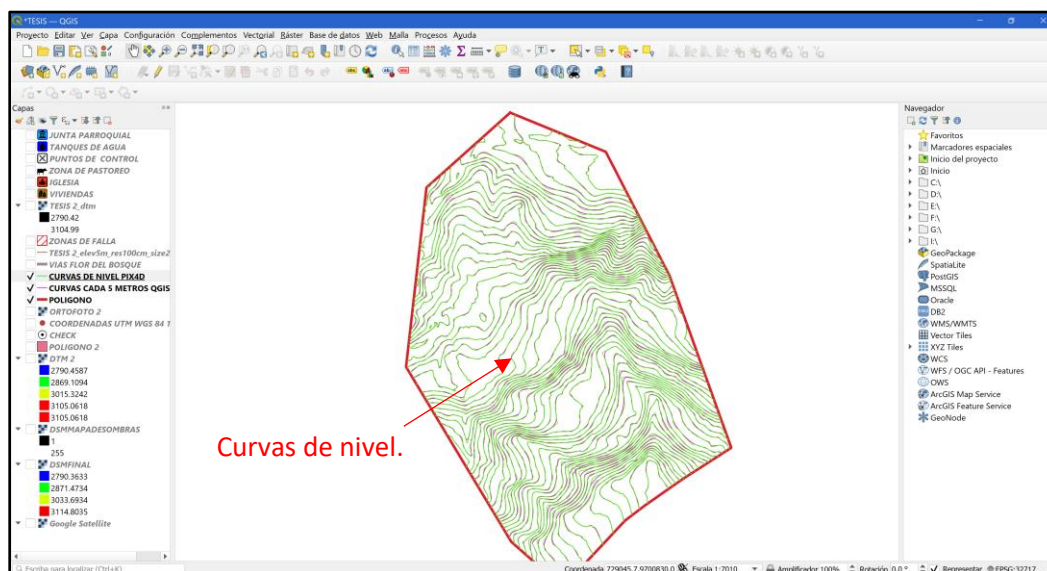


Figura 150 Curvas de nivel generadas por los softwares Pix4Dmapper y MicroStation **Fuente:** Elaboración Propia.

En la figura 151, se puede observar de manera más detallada la generación de las curvas de nivel, en color verde las generadas en Pix4dmapper, y las de color cian generadas en el software MicroStation, aquí se observará que ya existe una diferencia entre ellas, en calidad y suavizado.

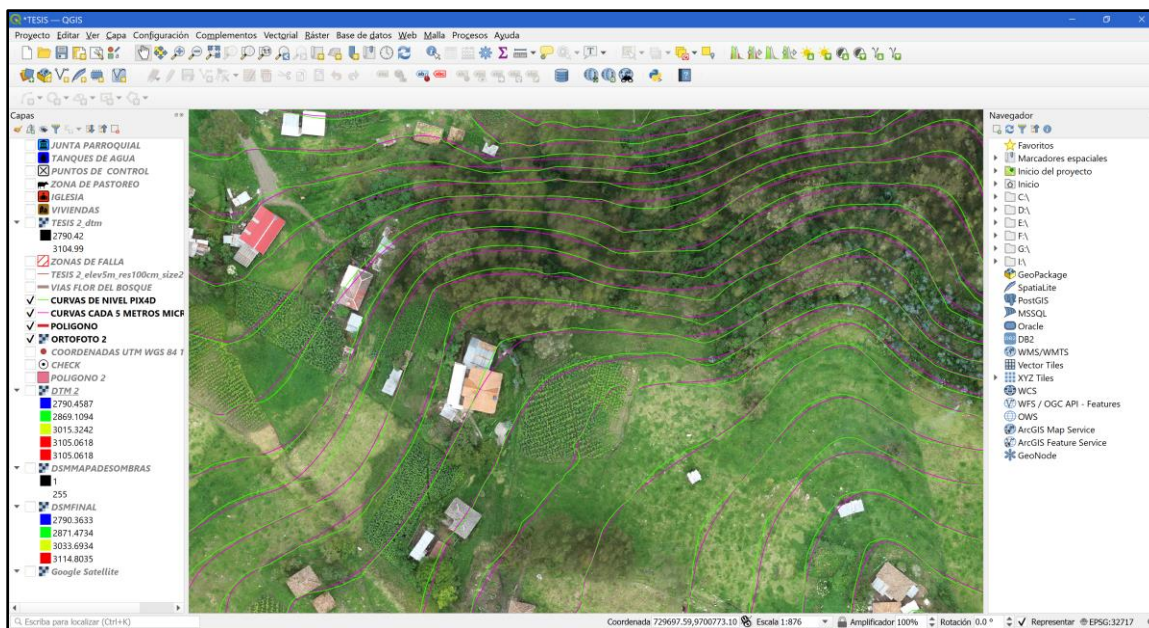


Figura 151 Curvas de nivel generados con los diferentes softwares **Fuente:** Elaboración Propia.

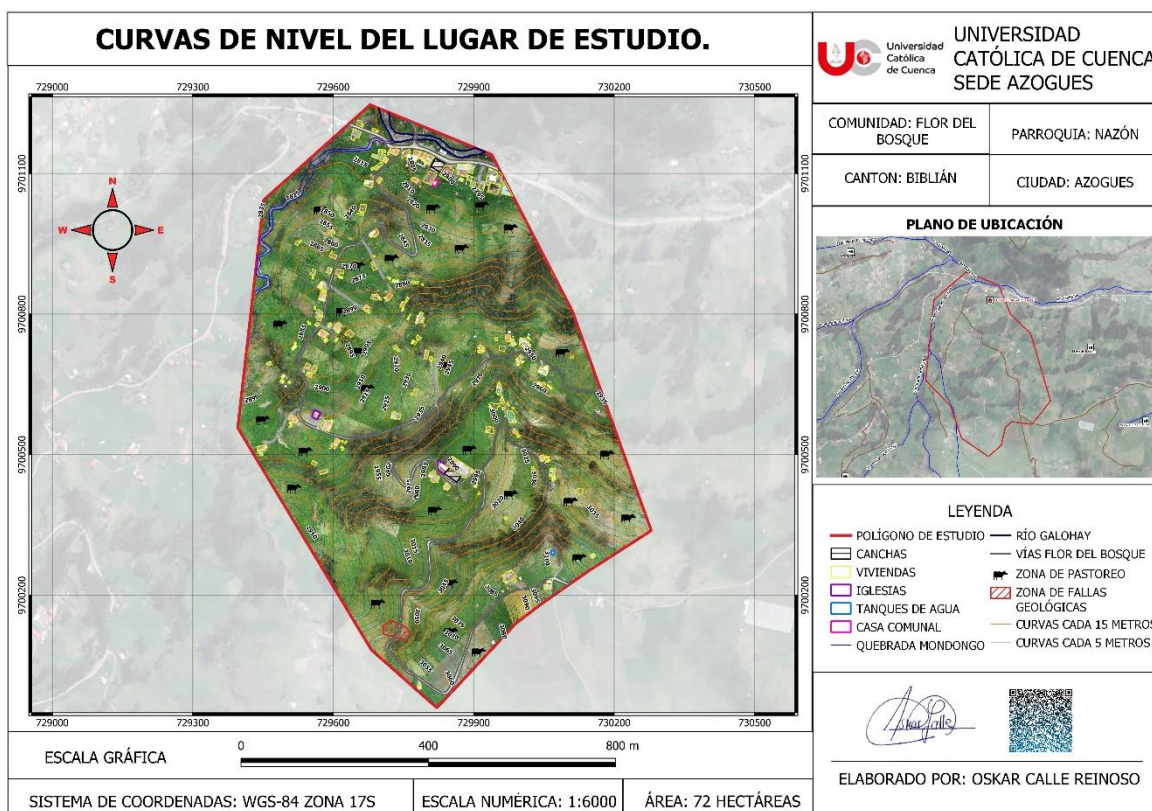


Figura 152 Plano generando mediante el software Qgis **Fuente:** Elaboración Propia.

## 5.4. Análisis del resultado de tiempos empleados.

### 5.4.1. Análisis de tiempos en campo.

Para realizar una fotogrametría con drone y equipos GNSS, en modo RTK, dependerá de muchos factores el más importante el clima, en nuestro caso se realizó una fotogrametría de aproximadamente 75 hectáreas, el tiempo estimado en realizar dicha actividad fue de 10 horas 10 minutos aproximadamente. (véase tabla V).

Tabla V Análisis de tiempos empleados en campo **Fuente:** Elaboración Propia.

<b>Análisis de tiempo en campo</b>		
<b>Actividad</b>	<b>Horas empleadas</b>	<b>Minutos empleados</b>
<b>Visita in situ</b>	2	0
<b>Creación de plan de vuelo y ubicación de puntos de control</b>	1	0
<b>Colocación de los puntos de control</b>	3	0
<b>Toma de puntos con GNSS modo RTK</b>	3	0
<b>Vuelos realizados</b>	1	10

### 5.4.2. Análisis de tiempos en oficina

Los tiempos estimados en oficina para realizar todos los procesos dependerán principalmente del tipo de computadora a usar en nuestro caso se estimó un tiempo de 24 horas con 26 minutos aproximadamente, pero esto no significa que en todos los casos este tiempo será igual dependerá de la cantidad de RAM, procesador y tarjeta gráfica a usar, en muchos casos estos tiempos pueden ser menores o mayores (véase tabla VI).

Tabla VI Análisis de tiempos en oficina realizados **Fuente:** Elaboración Propia.

<b>Análisis de tiempo en oficina</b>		
<b>Actividad</b>	<b>Horas empleadas</b>	<b>Minutos empleados</b>
<b>Importación de las imágenes y puntos de control</b>	0	30
<b>Elaboración de paso 1 procesamiento inicial</b>	3	30
<b>Elaboración del paso 2 nube de puntos y malla</b>	9	12
<b>Clasificación manual de nube de puntos</b>	1	0
<b>Elaboración del paso 3 MDS, Ortomosaico e índices</b>	5	44

<b>Exportación y edición de la nube de puntos a MicroStation para la creación de curvas de nivel</b>	2	30
<b>Creación de planos</b>	2	0

### 5.5. Resultados de precisiones determinadas.

Existen diferentes precisiones por analizar una de ellas sería la precisión relativa, la cual nos mostrara el tamaño que mide un pixel dentro de nuestro modelo, en nuestro caso tenemos un GSD de 4,20 cm/pixel. El cual es un valor categorizado como bueno para fotogrametría ya que cumplen los parámetros establecidos por el IGM (Instituto Geográfico Militar) para trabajos con escalas específicas.

De igual manera la precisión absoluta fue determinada mediante la colocación de puntos de control mediante equipos GNSS en modo RTK, dándonos unos buenos resultados tanto las precisiones horizontales como verticales menores a 1.5 cm, cumpliendo también con las especificaciones dadas por el IGM (véase tabla VII).

Tabla VII Especificaciones técnicas para ortofotos digitales **Fuente:** [36].

<b>Escala fotogrametría</b>	<b>Tamaño de pixel (m).</b>	<b>Escala ortofotos</b>	<b>Tamaño pixel (m).</b>	<b>Precisión horizontal (m).</b>	<b>Precisión vertical (m).</b>
<b>1:5000</b>	0.07	1:1000	0.1	0.3	0.25
<b>1:10000</b>	0.14	1:2000	0.2	0.6	0.5
<b>1:20000</b>	0.28	1:2500	0.25	0.8	0.6
<b>1:30000</b>	0.42	1:5000	0.5	1.5	1.25
<b>1:60000</b>	0.84	1:10000	1	3	2.5
<b>1:60000</b>	0.84	1:20000	1	6	2.5
<b>1:60000</b>	0.84	1:25000	1	7.5	5
<b>1:60000</b>	0.84	1:50000	2	15	10

**Nota.** Recuperado del IGM citado en el artículo científico de [36].

Ground Control Points						
GCP Name	Accuracy XYZ [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
PC1 (3D)	0.020/ 0.020	-0.003	-0.014	0.033	0.551	59 / 59
PC2 (3D)	0.020/ 0.020	0.008	0.002	-0.037	0.532	51 / 52
PC3 (3D)	0.020/ 0.020	0.006	-0.028	-0.021	0.495	54 / 54
PC4 (3D)	0.020/ 0.020	-0.031	0.003	-0.024	0.419	65 / 65
PC5 (3D)	0.020/ 0.020	0.022	-0.009	0.069	0.195	48 / 48
PC6 (3D)	0.020/ 0.020	0.003	0.008	-0.015	0.684	46 / 47
PC7 (3D)	0.020/ 0.020	0.001	0.004	-0.011	0.523	19 / 19
PC8 (3D)	0.020/ 0.020	0.009	0.024	0.015	0.108	61 / 61
<b>Mean [m]</b>		0.001796	-0.001325	0.001070		
<b>Sigma [m]</b>		0.014204	0.014610	0.032998		
<b>RMS Error [m]</b>		0.014317	0.014670	0.033016		

Figura 153 Precisiones obtenidas de los puntos de control terrestres **Fuente:** Elaboración Propia.

Además, gracias a nuestros puntos de verificación tomados con nuestro equipo GNSS en modo Rtk, se pudo verificar que nuestras coordenadas coinciden con las marcas dejadas en terreno vistas a través de la ortofoto con una precisión similar a la que el software nos determinó (véase figura 154).

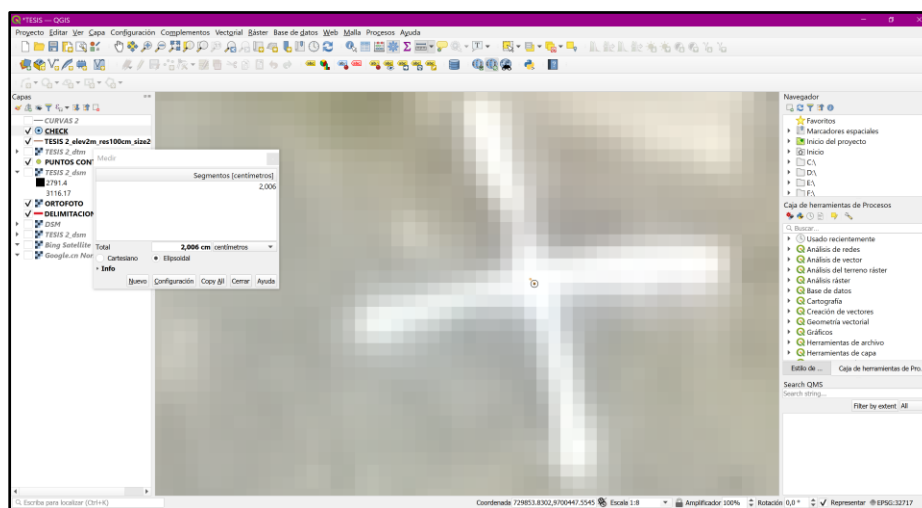


Figura 154 Comprobación de precisión mediante puntos de apoyo dejados en el terreno **Fuente:** Elaboración Propia.

## 5.6. Conclusiones:

- Luego de haber realizado este proyecto se ha determinado que tener un plan de vuelo es uno de los puntos más importantes y el paso principal para realizar fotogrametría con RPA'S, ya que desde aquí comienzan o se presentan los problemas referentes a la disciplina fotogramétrica por no definir correctamente los diferentes parámetros como son: la altura de vuelo (GSD) para el cálculo del tamaño de pixeles, el área de interés, (GCP) y los traslapes tanto verticales como horizontales, los mismos que están en función de las necesidades y requerimientos de los productos a obtener. Las dificultades recurrentes que se presentaron en el proyecto fueron al momento de definir un correcto plan de vuelo, en donde se pudo identificar que: alturas de vuelo bajas presentan mayor detalle en pixeles que alturas de vuelo altas, volando a una altura constante de (90 metros) se obtuvo un valor promedio GSD de (4,20 cm/pixel), valor que dependió de las excesivas diferencias de alturas en el terreno y la presencia de grandes árboles. Además, la mejor alternativa fue realizar un polígono que sobrepase los (5 metros) del área de interés, lo cual garantizó que al momento de procesar las imágenes no se pierdan detalles del modelo en los bordes. Por ser una zona con gran vegetación, se usó traslapes altos con valores del (80%), los cuales dieron buenos resultados al momento de crear nubes de puntos y el modelo 3D.
- En virtud a lo investigado se sabe que la toma de GCP, es algo necesario dentro de proyectos fotogramétricos con drones, ya que gracias a esto se logró obtener una precisión absoluta de 2cm en todo el modelo, algo que no se puede lograr únicamente usando el sistema de posicionamiento de los RPA'S. Los puntos de control siempre son tomados con equipos de alta precisión como el que se ha usado "GNSS Trimble R6 RTK", el cual proporcionó coordenadas exactas y reales de la zona de interés. Un correcto manejo de estos equipos se logra con un conocimiento básico en topografía, ya que al momento de obtener datos pueden presentar errores dificultando la interpretación de los mismos.
- La creación de una guía fotogramétrica fue una herramienta muy útil, ya que gracias a esto se consideró todos los aspectos necesarios para la toma de información proceso y post-proceso de la misma, evitando generar productos con errores tanto en detalle como precisión.

- En relación a la selección de un RPA's, se consideró cual sería la función que desempeñaría, pues existen una gran variedad de modelos y tipos: multirrotores, de ala fija o combinados, mismos que pueden incorporar cámaras digitales, multispectrales o térmicas, por ello la mejor opción fue elegir un drone modelo DJI Phantom 4 Pro, las características que más destacan del equipo son: tipo multirrotor-cuadrícóptero, incorpora una cámara de 20 megapíxeles, resistencia a vientos de hasta 10m/s y una autonomía de vuelo de hasta 30 minutos, rasgos que fueron suficientes para realizar una fotogrametría a gran detalle con equipos de bajo costo.
- En cuanto a los diferentes softwares fotogramétricos destinados al procesamiento de imágenes aéreas, Pix4Dmapper es uno de los que más destacan en el mercado tecnológico, mismo que fue de gran ayuda para obtener de manera rápida y precisa productos fotogramétricos generados con gran calidad y detalle. Los resultados de precisión expuestos por el software al momento de ingresar los puntos de control fueron buenos, mostrando errores menores o iguales en posicionamiento a los 3 centímetros en los planos (x, y, z).
- Finalmente, la creación de mapas y planos fue de gran ayuda para determinar mediante la ortofoto zonas vulnerables, fallas, poblados, áreas, vías, quebradas, etc. Las curvas de nivel se generaron con gran detalle y con un correcto suavizado gracias a una buena clasificación de la nube de puntos, las mismas que son útiles para conocer las diferentes alturas presentes en el terreno. Los modelos digitales de superficie y elevación también fueron de gran ayuda para establecer zonas altas y bajas del lugar, representadas con escalas de colores. El modelo 3D creado ayudó a conocer la forma real del terreno y gracias a la tecnología de realidad aumentada fue posible poder visualizarlo creando una aplicación móvil donde se puede interactuar, girarlo y descubrir zonas de difícil acceso.

## 5.7. Recomendaciones.

- En lugares con presencia de gran cantidad de aves, realizar planes de vuelo con alturas mayores a los 70 metros, ya que la mayoría de aves no superan esta altura de vuelo, y así evitar que estas choquen con el equipo.
- Siempre antes de volar largas distancias se debe realizar un vuelo manual ejecutando movimientos hacia arriba y abajo de izquierda a derecha, para evaluar que el drone este en excelentes condiciones de motores y no surjan errores inesperados al momento que este se encuentre lejos.
- Verificar que el Drone esté conectado a los satélites necesarios para poder establecer el punto de origen que será el lugar de despegue del mismo, ya que si al momento de vuelo el equipo perdiera señal de transmisión o se desconectara del control, este intentará regresar automáticamente al lugar de despegue registrado evitando que este se pierda o caiga en un lugar lejano por batería baja.
- Siempre tener presente cual es la resistencia máxima que presentan los diferentes tipos de drones a ráfagas de viento, ya que, si estas superan a las que el equipo resiste, será arrastrado pudiendo chocar con objetos, o voltearse haciendo que pierda el control y caiga, para ello existen aplicaciones dedicadas a mostrar esta información como es el caso de UAV Forecast.
- Al momento de procesar la información, si existe errores de pixeles por fotografías borrosas, es mejor realizar otro plan vuelo ya que arreglar los pixeles de una fotografía es muy complicado y demorado.
- Al momento de colocar puntos de control verificar que la zona sea firme, no presente objetos alrededor que dificulten la visibilidad de las marcas en desde el aire, que la ubicación de los mismos genere una estabilidad en el modelo evitando que el mismo gire o se desfase demasiado.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] H. Tacca Qquelca, “Comparación de resultados obtenidos de un levantamiento topográfico utilizando la fotogrametría con drones al método tradicional,” 2015.
- [2] I. J. Sanches, “Determinar el grado de Confiabilidad de levantamiento Topográfico con Dron en la Plaza San Luis-2017,” 2017.
- [3] R. del B. Tajadura, “Uso de drones en la inspección para la rehabilitación del patrimonio Iglesia de la merced,” 2018.
- [4] P. Rendón, S. Mateo, F. Pág, R. Wiston Pari Rendon Fredy Diogenes Sedano Mateo Asesor, and I. Alejandro Vildoso Flores, “ANALISIS, DESARROLLO Y COMPARACION DE UN LEVANTAMIENTO FOTOGRAFICO REALIZADO CON UN RPA FRENTE A UN LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO CONVENCIONAL REALIZADO CON GNSS - MINA BARRICK, 2018,” 2019.
- [5] Statista, “DJI y Parrot, líderes en el mercado de drones | Statista,” Sep. 19, 2016. <https://es.statista.com/grafico/5901/dji-y-parrot-lideres-en-el-mercado-de-drones/> (accessed Jun. 28, 2021).
- [6] L. García, “Drones, el cielo está al alcance de todos,” *IES Emperador Carles*, pp. 1–65, 2015, [Online]. Available: [https://www.edubcn.cat/rcs\\_gene/treballs\\_recerca/2015-2016-03-1-TR.pdf](https://www.edubcn.cat/rcs_gene/treballs_recerca/2015-2016-03-1-TR.pdf).
- [7] Guía Drones, “Cómo funciona un dron con explicación de hélices y motores | Guía Drones,” 2020. <https://guiadrones.com/base-de-conocimiento/como-funciona-un-dron-con-explicacion-de-helices-y-motores/> (accessed Jun. 28, 2021).
- [8] G. Costales, “Análisis Comparativo Entre Los Software De Prueba Agisoft Photoscan Y Pix4D Para El Procesamiento De Datos Obtenidos Con Fotogrametría De Vehículo Aéreo No Tripulado (Uav) De Bajo Costo Aplicado a Proyectos De Medio Ambiente,” *Esc. Politec. Nac.*, p. 179, 2018.
- [9] G. Marisa *et al.*, “Resolución Nro. DGAC-DGAC-2020-0110-R Operación de Aeronaves Pilotadas a Distancia (RPAs),” *Dir. Gen. Aviac. Civ.*, no. 811, pp. 1–2,

2020.

- [10] J. D. M. Bejarano, “Técnicas de fotogrametría y visión por computador para el modelado 3D de estructuras geomorfológicas dinámicas,” p. 155, 2013.
- [11] R. O. Ramírez, “Apuntes de fotogrametría,” 2006.
- [12] H. I. R. Canales, “Restitución fotogramétrica a partir de fotografía aérea de pequeño formato,” 2013.
- [13] O. Zapata, *Fundamentos de fotogrametría para imágenes de contacto y digitales*. 2003.
- [14] J. Santamaria and T. Sanz, “Fundamentos de fotogrametría,” Universidad de la Rioja, 2011.
- [15] M. J. a Butler, C. LeBlanc, J. a Belbin, and J. L. MacNeill, “Cartografía de recursos marinos: un manual de introducción.,” *FAO Doc. Técnico Pesca*, vol. 274, p. 281, 1990.
- [16] Pix4D, “What is accuracy in an aerial mapping project,” no. April, pp. 1–4, 2019, [Online]. Available: <https://www.pix4d.com/blog/accuracy-aerial-mapping%0Ahttps://www.pix4d.com/es/blog/mapeo-aereo-de-precision>.
- [17] J. A. Sánchez, “Introducción a la Fotogrametría,” 2007.
- [18] J. L. Caro, “Fotogrametría y modelado 3D: un caso práctico para la difusión del patrimonio y su promoción turística.,” *Dpto. Lenguajes y Ciencias la Comput. Univ. Málaga*, 2012.
- [19] Quasar Dynamics, “Fotogrametría 3D. Qué es, cómo funciona y cómo puede ayudarte.,” Jul. 29, 2019. <https://quasardynamics.com/fotogrametria-3d/> (accessed Jun. 28, 2021).
- [20] A. Morales, “Los formatos GIS ráster más populares - MappingGIS,” 2016. <https://mappinggis.com/2015/12/los-formatos-gis-raster-mas-populares/> (accessed Jun. 30, 2021).
- [21] F. Gómez, “Sistemas de Coordenadas Geogésicas,” *Geociências*, 2020, [Online].


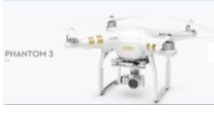





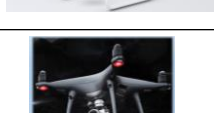



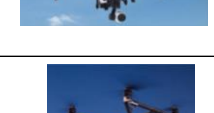
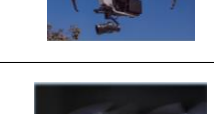
Available: <http://www.ibge.gov.br/home/>.

- [22] D. Wolf, Paul R; Charles, *Topografía*, 14 edición. Mexico, 2016.
- [23] Pix4D, “PIX4Dmapper precio | Pix4D,” Jun. 29, 2021. <https://www.pix4d.com/es/precios/pix4dmapper> (accessed Jun. 29, 2021).
- [24] Geosoluciones, “Global Mapper - Geosoluciones,” 2019. <https://www.geosoluciones.cl/global-mapper/> (accessed Jun. 29, 2021).
- [25] S. Jin, “Geotecnologías Cartográficas en Ingeniería y Arquitectura,” 2010.
- [26] Imasgal, “Autocad Civil 3D - Soluciones BIM para proyectos de ingeniería civil | Blog | Imasgal,” Apr. 08, 2015. <https://imasgal.com/autocad-civil-3d-soluciones-bim-proyectos-ingenieria-civil/> (accessed Jun. 29, 2021).
- [27] L. D. Aranda, “Calaméo - Qué Es Un Modelo 3d,” 2017. <https://en.calameo.com/books/005192891132cde5c9f4f> (accessed Jun. 29, 2021).
- [28] G. G. L Enrique Sucar, “Visión Computacional,” 2011.
- [29] DJI, “Manual del Usuario Phantom 4 PRO/PRO+,” *DJI*, no. 477, pp. 1–43, 2017.
- [30] Aerial Insights, “Puntos de control en drones: todo lo que tienes que saber - 2019,” 2019. <https://www.aerial-insights.co/blog/puntos-de-control/> (accessed Jun. 29, 2021).
- [31] D. Manandhar, “Introduction to Global Navigation Satellite System (GNSS),” Center for Spatial Information Science The University Of Tokio, 2018.
- [32] REGME, “Red GNSS de Monitoreo Continuo del Ecuador – REGME | REGME,” 2019. [http://www.geoportaligm.gob.ec/wordpress/?page\\_id=207](http://www.geoportaligm.gob.ec/wordpress/?page_id=207) (accessed Jun. 29, 2021).
- [33] Trimble, “SISTEMA TRIMBLE R6 GNSS,” *Geotronics*, 2013.
- [34] A. F. Habib, “Photogrammetric Bundle Adjustment,” *Archives*, p. 153, 2013.
- [35] Virtuosity a Bentley Company, “Comprar MicroStation - Virtuosity,” 2021. [https://www.virtuosity.com/product/microstation/?utm\\_source=internal&utm\\_medium](https://www.virtuosity.com/product/microstation/?utm_source=internal&utm_medium)

m=bentley.com&utm\_campaign=microstation\_buy\_now\_marketing&utm\_content=microstation\_buy\_now\_marketing\_\_en-microstation-buy-now&utm\_term=button\_\_\_callout-product-page (accessed Jun. 29, 2021).

- [36] J. Rivera, “Evaluación de Método de Corrección Geométrica de Fotografía Aérea escala 1:1.000 capturada por vehículos aéreos no tripulados estableciendo una red Geodésica de cuarto orden,” *Memorias Univ. Del Azuay*, 1(XVI), pp. 195–208, 2017, [Online]. Available: <http://revistas.uazuay.edu.ec/index.php/memorias/article/view/64>.

# **ANEXO 1**

Nombre	Imagen	Precio Dólares	Peso	Velocidad Máxima	Tiempo Máximo de Vuelo	GPS	Tipo de Sensor/ Cámara
Phantom 3 standar		499	1260 g	57,6 km por hora	25 minutos	incorporado	1/ 2,3" Pixeles 12 Megapixeles
Phantom 3 4K		599	1280 g	57,6 km por hora	25 minutos	incorporado	CMOS Sony EXMOR 1/2,3" 12 Megapixeles
Phantom 3 advanced		799	1280 g	57,6 km por hora	23 minutos	GPS/ GLONASS	CMOS Sony EXMOR 1/2,3" 12,4 Megapixeles calidad 4K
Phantom 3 Professional		999	1280 g	57,6 km por hora	23 minutos	GPS/ GLONASS	CMOS Sony EXMOR 1/2,3" 12,4 M
Phantom 4		1199	1380 g	72 km por hora	28 minutos	GPS/ GLONASS	1/ 2,3" (CMOS) 12,4 Megapixeles.
Phantom 4 Advanced		1349	1369 g	72 km por hora	30 minutos	GPS/ GLONASS	sensor de imagen de 1 pulgada 20 megapixeles, video 4k 60 fps.
Phantom 4 Professional		1499	1388 g	72 km por hora	30 minutos	GPS/ GLONASS	CMOS de 1" 20 megapixeles
Phantom 4 Professional edición obdiana		1500	1388 g	72 km por hora	30 minutos	GPS/ GLONASS	CMOS de 1" 20 megapixeles
Phantom 4 Professional edición obdiana		1599	1388 g	72 km por hora	30 minutos	GPS/ GLONASS / Galileo	CMOS de 1" 20 megapixeles
Phantom 4 RTK		8000	1391 g	75 km por hora	30 minutos	GPS/ GLONASS/G ALILEO	CMOS de 1" 20 megapixeles
Inspire 1		1399	2935 g	79,2 km por hora	18 minutos	GPS/ GLONASS	FC350 12 Megapixeles
Inspire 2		3299	3290 g	94 km por hora	27 minutos	GPS/ GLONASS	camra de 20 Megapixeles giro 360 grados
mavic 2 pro		1599	907 g	72 km por hora	31 minutos	GPS/ GLONASS	Hasselblad, sensor de 1 pulgada 20 Megapixeles

# ANEXO 2

<b>PLAN DE VUELO OSKAR CALLE</b>			
<b>UBICACIÓN</b>	FLOR DEL BOSQUE		
<b>BIBLIÁN- ECUADOR</b>			
<b>TIPO DE DRON A USAR</b>	DJI PHANTOM 4 PRO V2	<b>PESO</b>	1380 g
<b>TIPO DE ACTIVIDAD A REALIZAR</b>	FOTOGRAMETRIA		
<b>COORDENADAS DEL PROYECTO</b>	UTM WGS 84 ZONA 17S		
<b>ESTE</b>	<b>NORTE</b>	<b>ELEVACION</b>	
730058	9700231	3071 m	
<b>NUMERO DE PUNTOS DE CONTROL</b>	8		
<b>COTAS DEL TERRENO</b>		<b>ALTURA</b>	
<b>COTA 1 DEL PUNTO DE DESPEGUE HOME</b>		2975	m
<b>COTA 2 DEL PUNTO DE DESPEGUE HOME</b>		3072	m
<b>COTA DE ELEVACION MÁXIMA</b>		3073	m
<b>COTA DE ELEVACION MÍNIMA</b>		2787	m
<b>DESNIVEL ENTRE COTA MÁXIMA Y MÍNIMA</b>		286	m
<b>CHECK LIST- PRE-VUELO</b>			
<b>EVALUACIÓN DE RIESGOS DE CHOQUES POR ÁRBOLES, ANTENAS O CONTRUCCIONES.</b>			
<b>FIRMWARE ACTUALIZADO DEL DRON A TRAVES DE LA APLICACIÓN DJI GO 4.</b>			
<b>BATERIAS CARGADAS 100%.</b>			
<b>BATERIAS DEL CELULAR O TABLETA CARGADAS.</b>			
<b>ANTENAS BIEN ORIENTADAS.</b>			
<b>BRÚJULA CALIBRADA.</b>			
<b>ALTURA MÁXIMA DE VUELO.</b>			
<b>DISTANCIA MÁXIMA DE VUELO.</b>			
<b>HÉLICES ASEGURADAS.</b>			
<b>GIMBAL CALIBRADO.</b>			
<b>CHEQUEO DE FUNCIONAMIENTO DE SENSORES.</b>			
<b>VERIFICACIÓN DE CONEXIÓN DEL DRON A SATELITES COMO MÍNIMO 6</b>			
<b>TARJETA SD INSERTADA.</b>			
<b>BRILLO DE TABLET AL MAXIMO.</b>			
<b>VERIFICACIÓN DE SEÑAL DE VIDEO.</b>			
<b>VERIFICAR ORIENTACION DEL VIENTO</b>			
<b>VERIFICAR VELOCIDADES DE VIENTOS</b>			
<b>IDENTIFICAR EL CLIMA, Y SI ES SEGURO VOLAR CON ESE CLIMA</b>			
<b>CHEQUEO DE ZONAS CON INTERFERENCIA MAGNETICA.</b>			
<b>VERIFICACIÓN QUE LA ZONA DE DESPEQUE SEA SEGURA.</b>			
<b>UBICACIÓN DEL NORTE MAGNETICO</b>			
<b>PUNTOS DE CONTROL TOMADOS Y UBICADOS EN EL SUELO</b>			
<b>VERIFICACIÓN DE PLAN DE VUELO.</b>			
<b>CALCULO DEL PLAN DE VUELO</b>			
<b>GSD CALCULADO POR MEDIO DE LA HOJA DE CALCULO DE PIX4D</b>		<b>ALTURA DE VUELO PROPUESTO 90 m</b>	2,45 cm/pixel



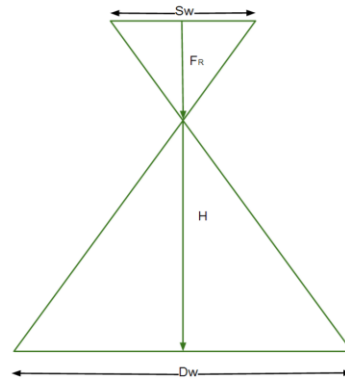
### GROUND SAMPLING DISTANCE CALCULATOR

#### Instructions

1. Enter the Sensor Width (millimeters) in cell **C14**
2. Enter the Focal Length (millimeters) in cell **C15** (real focal length, not 35 mm equivalent)
3. Enter the Flight Height (meters) in cell **C16**
4. Enter the Image Width (pixels) in cell **C17**
5. [Optional] Enter the Image Height (pixels) in cell **C18**
6. Hit Enter

#### Calculator

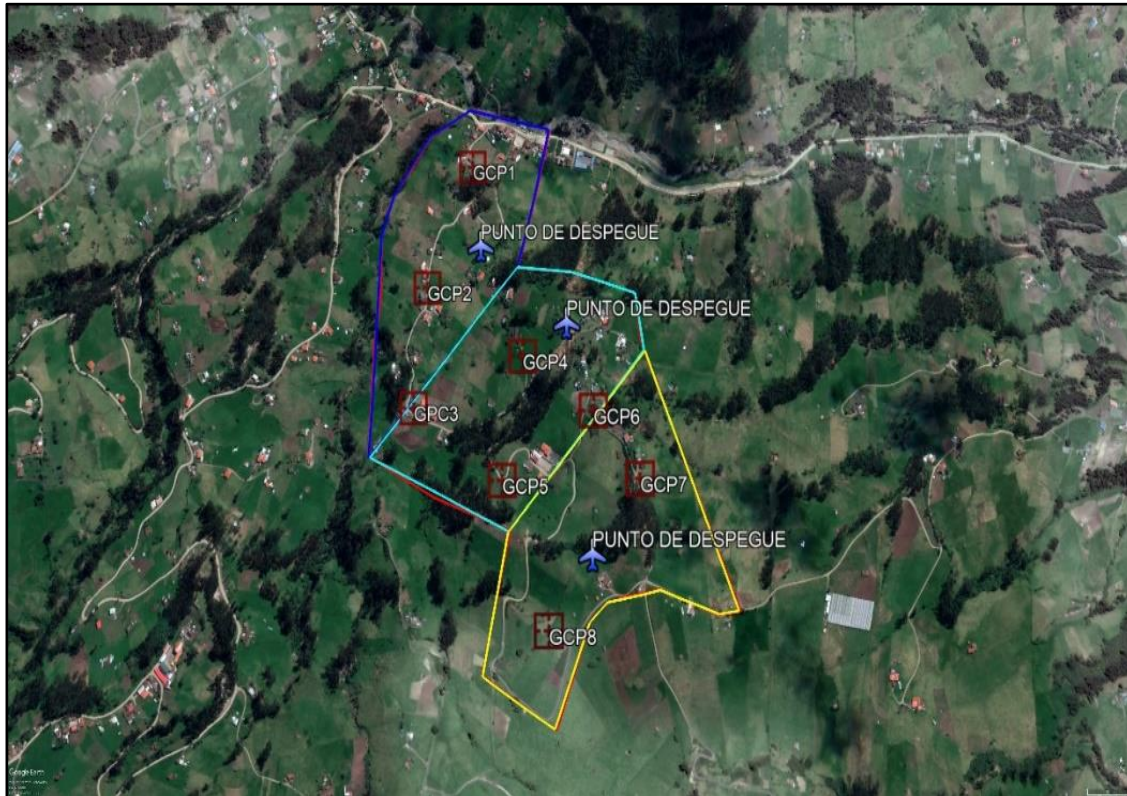
Sw	11.4074	= the sensor width of the camera (millimeters)
Fr	8.6	= the focal length of the camera (millimeters)
H	90	= the flight height (meters)
imW	4864	= the image width (pixels)
imH	3648	= the image height (pixels)
GSD	2.45	= Ground Sampling Distance (centimeters/pixel)
Dw	119	= width of single image footprint on the ground (meters)
DH	90	= height of single image footprint on the ground (meters)



Dw = The footprint width / distance covered on the ground by one image in width direction

[www.pix4d.com](http://www.pix4d.com)

### POLIGONOS REALIZADOS PARA LA ZONA DE VUELO



# ANEXO 3

- !** **Important:** Click on the different icons for:
  - ?** Help to analyze the results in the Quality Report
  - i** Additional information about the sections

Click [here](#) for additional tips to analyze the Quality Report

## Summary

Project	TESIS 2
Processed	2021-03-12 02:48:04
Camera Model Name(s)	FC6310_8.8_5472x3648 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	4.20 cm / 1.65 in
Area Covered	0.947 km <sup>2</sup> / 94.7469 ha / 0.37 sq. mi. / 234.2458 acres
Time for Initial Processing (without report)	03h:30m:17s

## Quality Check

<b>?</b> <b>Images</b>	median of 62082 keypoints per image	
<b>?</b> <b>Dataset</b>	999 out of 999 images calibrated (100%), 11 images disabled	
<b>?</b> <b>Camera Optimization</b>	0.66% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	
<b>?</b> <b>Matching</b>	median of 20484.7 matches per calibrated image	
<b>?</b> <b>Georeferencing</b>	yes, 8 GCPs (8 3D), mean RMS error = 0.02 m	

## **?** Preview

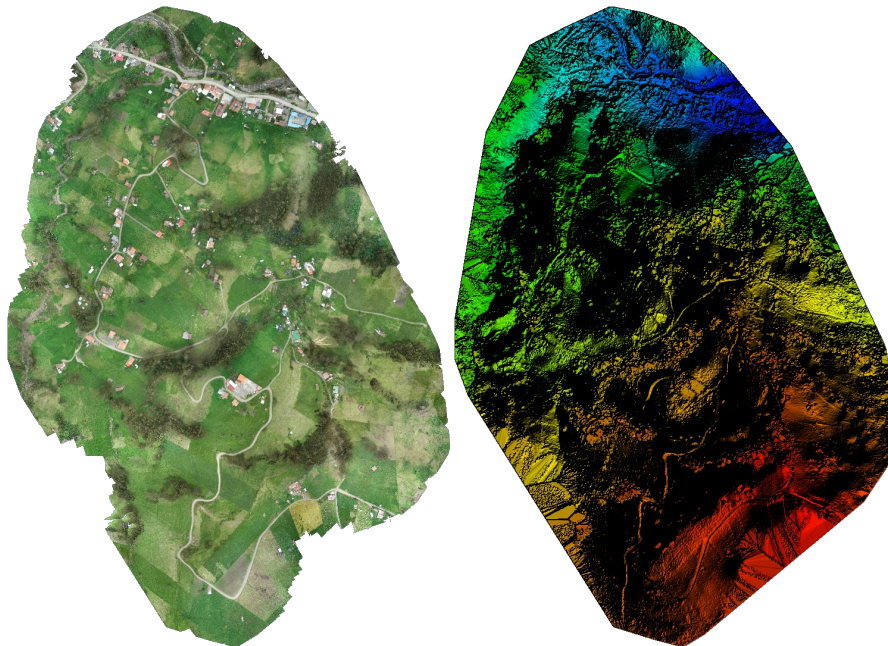


Figure 1: Orthomosaic and the corresponding sparse Digital Surface Model (DSM) before densification.

# Calibration Details



Number of Calibrated Images	999 out of 1010
Number of Geolocated Images	1010 out of 1010

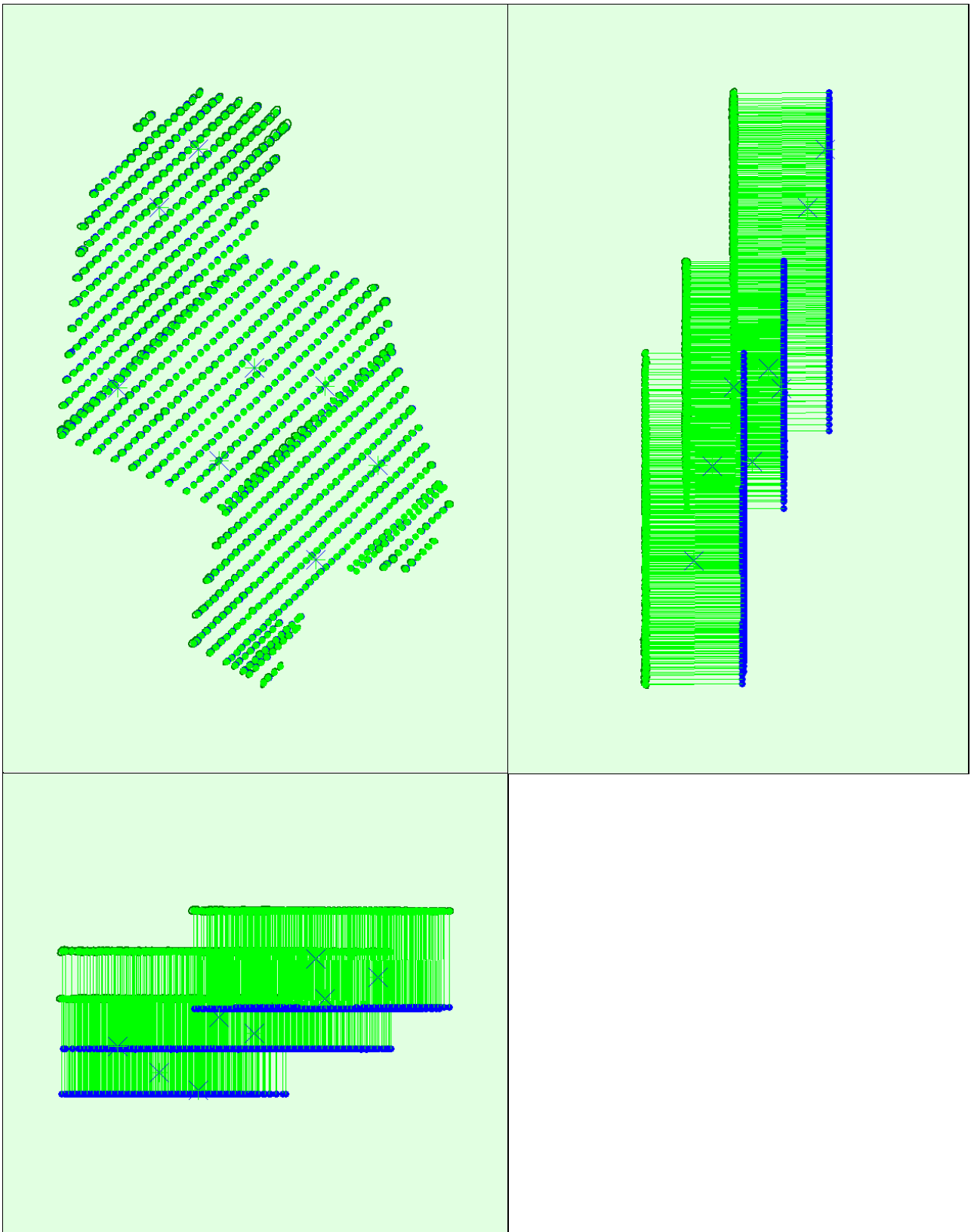
## ? Initial Image Positions



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

## ? Computed Image/GCPs/Manual Tie Points Positions





Uncertainty ellipses 500x magnified

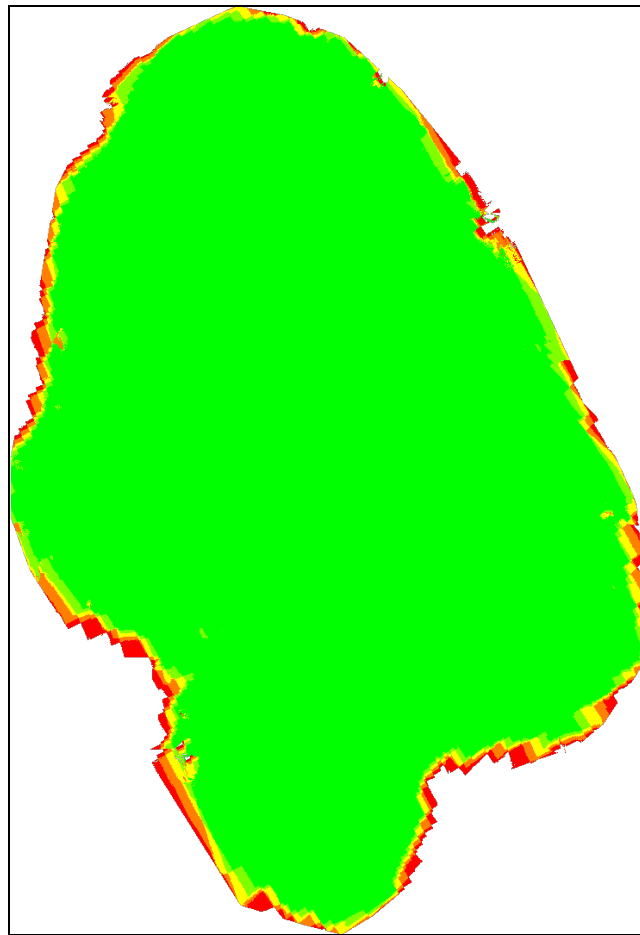
Figure 3: Offset between initial (blue dots) and computed (green dots) image positions as well as the offset between the GCPs initial positions (blue crosses) and their computed positions (green crosses) in the top-view (XY plane), front-view (XZ plane), and side-view (YZ plane). Red dots indicate disabled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

**🔍 Absolute camera position and orientation uncertainties**



	X[m]	Y[m]	Z[m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.013	0.012	0.012	0.004	0.005	0.002
Sigma	0.003	0.003	0.002	0.001	0.001	0.000

## Overlap



Number of overlapping images: 1 2 3 4 5+

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

## Bundle Block Adjustment Details



Number of 2D Keypoint Observations for Bundle Block Adjustment	20176175
Number of 3D Points for Bundle Block Adjustment	5409220
Mean Reprojection Error [pixels]	0.183

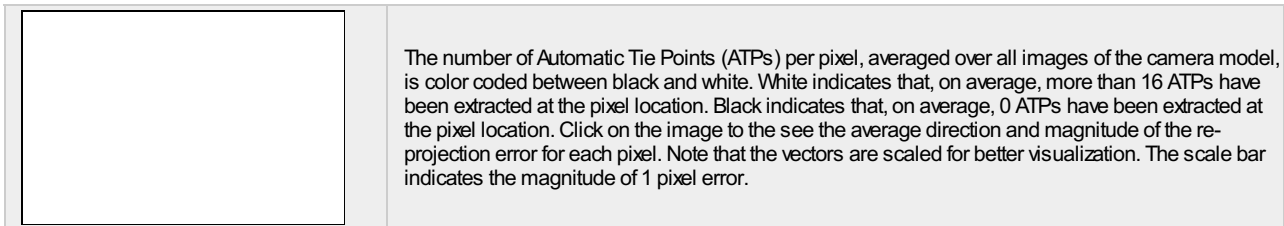
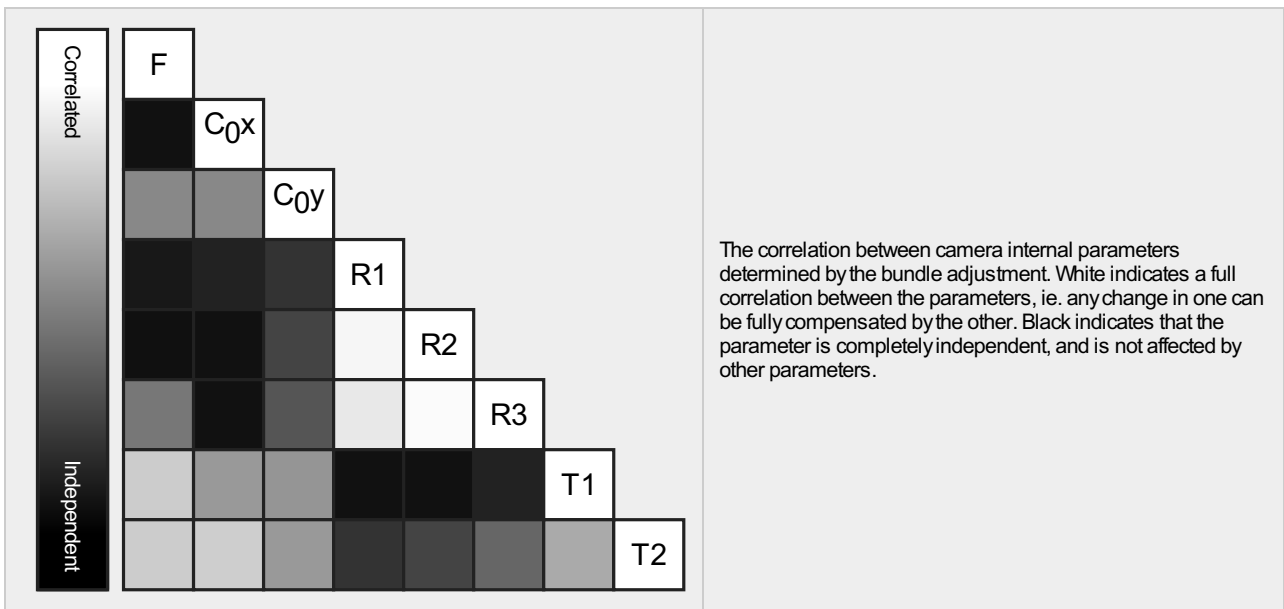
## Internal Camera Parameters

FC6310\_8.8\_5472x3648 (RGB). Sensor Dimensions: 12.833 [mm] x 8.556 [mm]



EXIF ID: FC6310S\_8.8\_5472x3648

	Focal Length	Principal Point x	Principal Point y	R1	R2	R3	T1	T2
Initial Values	3668.759 [pixel] 8.604 [mm]	2736.001 [pixel] 6.417 [mm]	1823.999 [pixel] 4.278 [mm]	0.003	-0.008	0.008	-0.000	0.000
Optimized Values	3693.239 [pixel] 8.662 [mm]	2685.429 [pixel] 6.298 [mm]	1815.476 [pixel] 4.258 [mm]	-0.013	0.003	0.006	-0.001	-0.004
Uncertainties (Sigma)	0.281 [pixel] 0.001 [mm]	0.033 [pixel] 0.000 [mm]	0.027 [pixel] 0.000 [mm]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000



### ? 2D Keypoints Table



	Number of 2D Keypoints per Image	Number of Matched 2D Keypoints per Image
Median	62082	20485
Mn	48140	5042
Max	78947	32748
Mean	61841	20196

### ? 3D Points from 2D Keypoint Matches



	Number of 3D Points Observed
In 2 Images	3000874
In 3 Images	999404
In 4 Images	464654
In 5 Images	258151
In 6 Images	159516
In 7 Images	107846
In 8 Images	76417
In 9 Images	56388
In 10 Images	43474
In 11 Images	33945
In 12 Images	27410
In 13 Images	22328
In 14 Images	18448
In 15 Images	15465
In 16 Images	13226
In 17 Images	11652
In 18 Images	9886
In 19 Images	8599
In 20 Images	7462
In 21 Images	6620
In 22 Images	5749
In 23 Images	5230

In 24 Images	4634
In 25 Images	4238
In 26 Images	3824
In 27 Images	3423
In 28 Images	3100
In 29 Images	2860
In 30 Images	2593
In 31 Images	2411
In 32 Images	2219
In 33 Images	2038
In 34 Images	1887
In 35 Images	1705
In 36 Images	1624
In 37 Images	1499
In 38 Images	1357
In 39 Images	1287
In 40 Images	1237
In 41 Images	1087
In 42 Images	1045
In 43 Images	1026
In 44 Images	957
In 45 Images	822
In 46 Images	836
In 47 Images	763
In 48 Images	675
In 49 Images	657
In 50 Images	599
In 51 Images	569
In 52 Images	541
In 53 Images	495
In 54 Images	486
In 55 Images	425
In 56 Images	352
In 57 Images	369
In 58 Images	336
In 59 Images	300
In 60 Images	300
In 61 Images	246
In 62 Images	246
In 63 Images	216
In 64 Images	214
In 65 Images	182
In 66 Images	175
In 67 Images	134
In 68 Images	134
In 69 Images	98
In 70 Images	63
In 71 Images	61
In 72 Images	40
In 73 Images	23
In 74 Images	12
In 75 Images	11
In 76 Images	11
In 77 Images	10
In 78 Images	5
In 79 Images	3
In 80 Images	6
In 81 Images	1
In 82 Images	3

In 84 Images	2
In 85 Images	1
In 86 Images	2
In 89 Images	1

2D Keypoint Matches

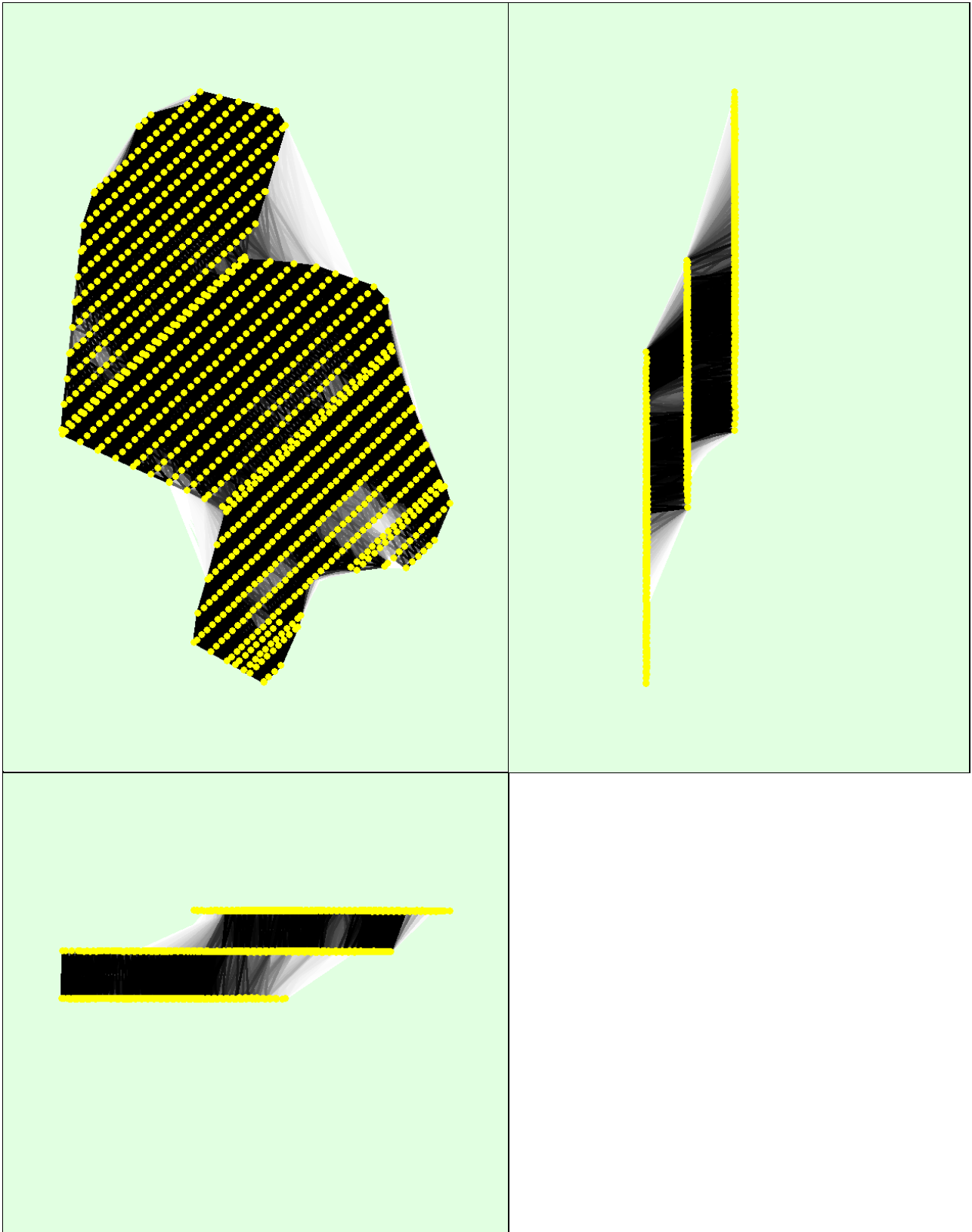


Figure 5: Computed image positions with links between matched images. The darkness of the links indicates the number of matched 2D keypoints between the images. Bright links indicate weak links and require manual tie points or more images.

# Geolocation Details



## Ground Control Points



GCP Name	Accuracy XY/Z [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
PC1 (3D)	0.020/ 0.020	-0.003	-0.014	0.033	0.551	59 / 59
PC2 (3D)	0.020/ 0.020	0.008	0.002	-0.037	0.532	51 / 52
PC3 (3D)	0.020/ 0.020	0.006	-0.028	-0.021	0.495	54 / 54
PC4 (3D)	0.020/ 0.020	-0.031	0.003	-0.024	0.419	65 / 65
PC5 (3D)	0.020/ 0.020	0.022	-0.009	0.069	0.195	48 / 48
PC6 (3D)	0.020/ 0.020	0.003	0.008	-0.015	0.684	46 / 47
PC7 (3D)	0.020/ 0.020	0.001	0.004	-0.011	0.523	19 / 19
PC8 (3D)	0.020/ 0.020	0.009	0.024	0.015	0.108	61 / 61
<b>Mean [m]</b>		0.001796	-0.001325	0.001070		
<b>Sigma [m]</b>		0.014204	0.014610	0.032998		
<b>RMS Error [m]</b>		0.014317	0.014670	0.033016		

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.

## Absolute Geolocation Variance



Mn Error [m]	Max Error [m]	Geolocation Error X [%]	Geolocation Error Y [%]	Geolocation Error Z [%]
-	-15.00	0.00	0.00	0.00
-15.00	-12.00	0.00	0.00	0.00
-12.00	-9.00	0.00	0.00	0.00
-9.00	-6.00	0.00	0.00	0.00
-6.00	-3.00	0.00	0.00	4.00
-3.00	0.00	40.84	47.65	56.46
0.00	3.00	59.16	52.35	21.12
3.00	6.00	0.00	0.00	18.42
6.00	9.00	0.00	0.00	0.00
9.00	12.00	0.00	0.00	0.00
12.00	15.00	0.00	0.00	0.00
15.00	-	0.00	0.00	0.00
<b>Mean [m]</b>		0.951441	1.312736	-195.719167
<b>Sigma [m]</b>		0.424625	0.517958	2.329451
<b>RMS Error [m]</b>		1.041896	1.411225	195.733029

Min Error and Max Error represent geolocation error intervals between -1.5 and 1.5 times the maximum accuracy of all the images. Columns X, Y, Z show the percentage of images with geolocation errors within the predefined error intervals. The geolocation error is the difference between the initial and computed image positions. Note that the image geolocation errors do not correspond to the accuracy of the observed 3D points.

Geolocation Bias	X	Y	Z
Translation [m]	0.951441	1.312736	-195.719167

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

## Relative Geolocation Variance



Relative Geolocation Error	Images X [%]	Images Y [%]	Images Z [%]
[-1.00, 1.00]	100.00	100.00	100.00
[-2.00, 2.00]	100.00	100.00	100.00
[-3.00, 3.00]	100.00	100.00	100.00

<b>Mean of Geolocation Accuracy [m]</b>	5.000000	5.000000	10.000000
<b>Sigma of Geolocation Accuracy [m]</b>	0.000000	0.000000	0.000000

Images X, Y, Z represent the percentage of images with a relative geolocation error in X, Y, Z.

Geolocation Orientational Variance	RMS [degree]
Omega	0.663
Phi	0.469
Kappa	14.832

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

## Initial Processing Details



### System Information



Hardware	CPU: Intel(R) Core(TM) i7-7700HQ CPU @ 2.80GHz RAM: 16GB GPU: Intel(R) HD Graphics 630 (Driver: 22.20.16.4749)
Operating System	Windows 10 Home, 64-bit

### Coordinate Systems



Image Coordinate System	WGS 84 (EGM96 Geoid)
Ground Control Point (GCP) Coordinate System	WGS 84 / UTMzone 17S (EGM96 Geoid)
Output Coordinate System	WGS 84 / UTMzone 17S (EGM96 Geoid)

### Processing Options



Detected Template	No Template Available
Keypoints Image Scale	Full, Image Scale: 1
Advanced: Matching Image Pairs	Aerial Grid or Corridor
Advanced: Matching Strategy	Use Geometrically Verified Matching: yes
Advanced: Keypoint Extraction	Targeted Number of Keypoints: Automatic
Advanced: Calibration	Calibration Method: Standard Internal Parameters Optimization: All External Parameters Optimization: All Rematch: Auto, no

## Point Cloud Densification details



### Processing Options



Image Scale	multiscale, 1/2 (Half image size, Default)
Point Density	Optimal
Minimum Number of Matches	3
3D Textured Mesh Generation	yes
3D Textured Mesh Settings:	Resolution: Medium Resolution (default) Color Balancing: no
LOD	Generated: no
Advanced: 3D Textured Mesh Settings	Sample Density Divider: 1
Advanced: Image Groups	group1
Advanced: Use Processing Area	yes
Advanced: Use Annotations	yes
Time for Point Cloud Densification	06h:00m:30s

Time for Point Cloud Classification	41m:45s
Time for 3D Textured Mesh Generation	47m:56s

## Results



Number of Processed Clusters	8
Number of Generated Tiles	5
Number of 3D Densified Points	91149015
Average Density (per m <sup>3</sup> )	50.64

# ANEXO 4

# PLANO TOPOGRÁFICO DEL LUGAR DE ESTUDIO.



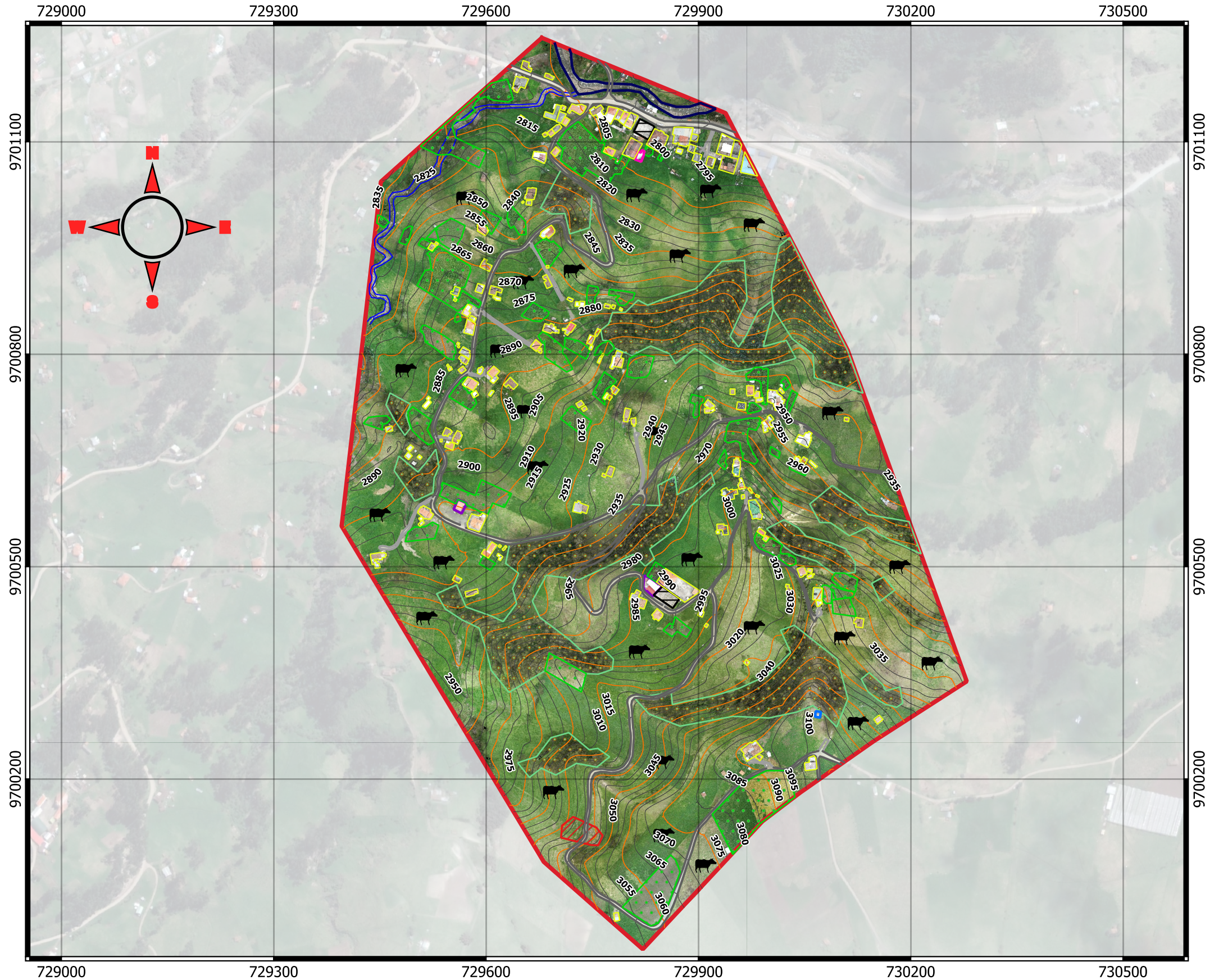
UNIVERSIDAD  
CATÓLICA DE CUENCA  
SEDE AZOGUES

COMUNIDAD: FLOR DEL BOSQUE

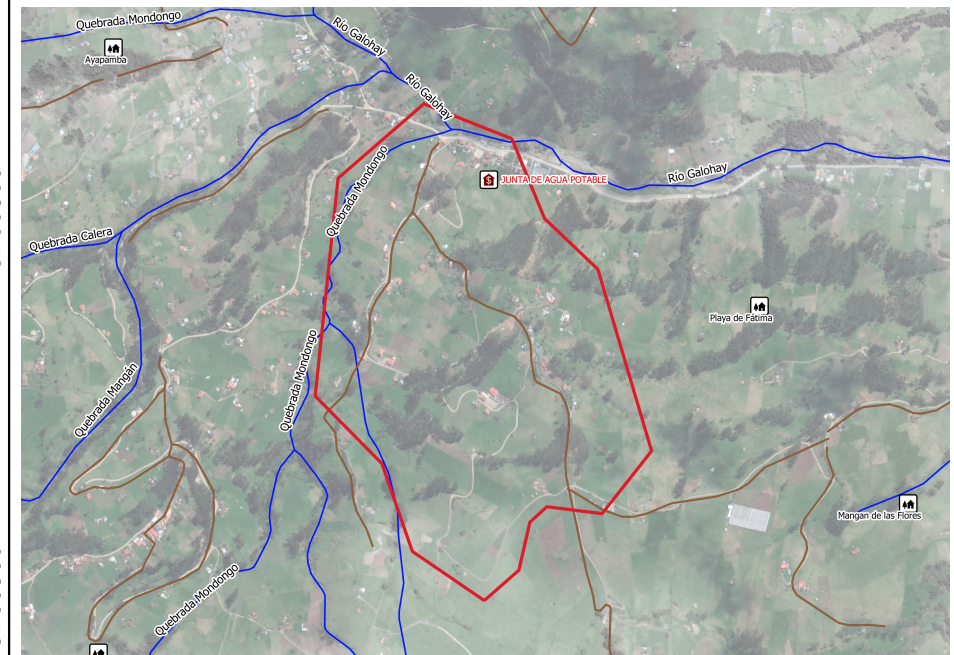
PARROQUIA: NAZÓN

CANTON: BIBLIÁN

CIUDAD: AZOGUES



## PLANO DE UBICACIÓN



## LEYENDA

- POLÍGONO DE ESTUDIO
- CANCHAS
- VIVIENDAS
- IGLESIAS
- TANQUES DE AGUA
- CASA COMUNAL
- QUEBRADA MONDONGO
- RÍO GALOHAY
- VÍAS FLOR DEL BOSQUE
- ZONAS DE BOSQUE
- ZONA DE PASTOREO
- ZONAS DE SEMBRÍOS
- ZONA DE FALLAS GEOLÓGICAS
- CURVAS CADA 15 METROS
- CURVAS CADA 5 METROS

ESCALA GRÁFICA



*Oskar Calle*



ELABORADO POR: OSKAR CALLE REINOSO

SISTEMA DE COORDENADAS: WGS-84 ZONA 17S

ESCALA NUMÉRICA: 1:6000

ÁREA: 72 HECTÁREAS

# DTM DEL LUGAR DE ESTUDIO



UNIVERSIDAD  
CATÓLICA DE CUENCA  
SEDE AZOGUES

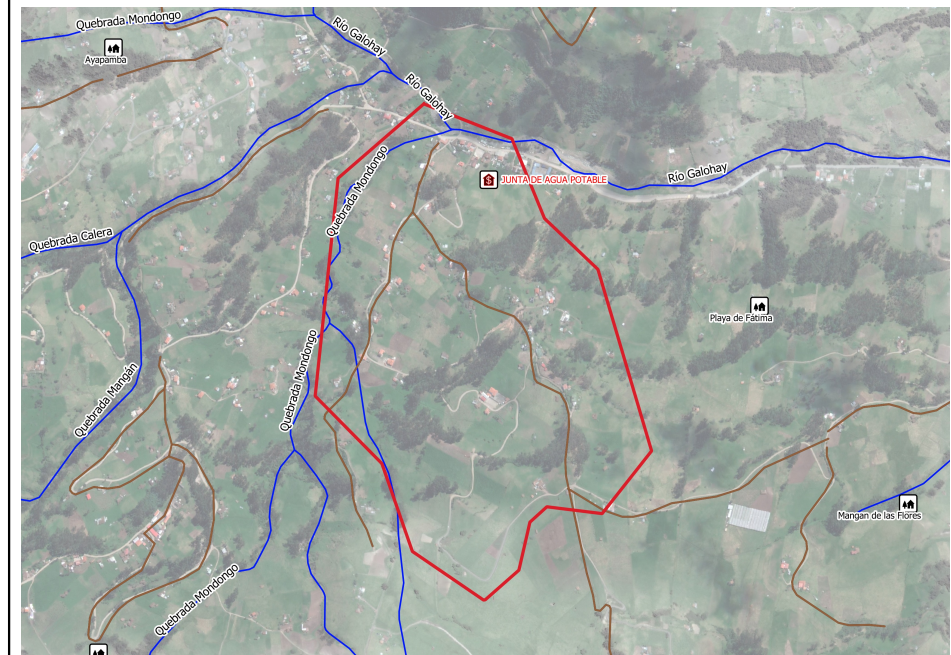
COMUNIDAD: FLOR DEL  
BOSQUE

PARROQUIA: NAZÓN

CANTON: BIBLIÁN

CIUDAD: AZOGUES

## PLANO DE UBICACIÓN



## LEYENDA

POLÍGONO DE ESTUDIO.

### ELEVACIONES

2790.4587

2869.1094

3015.3242

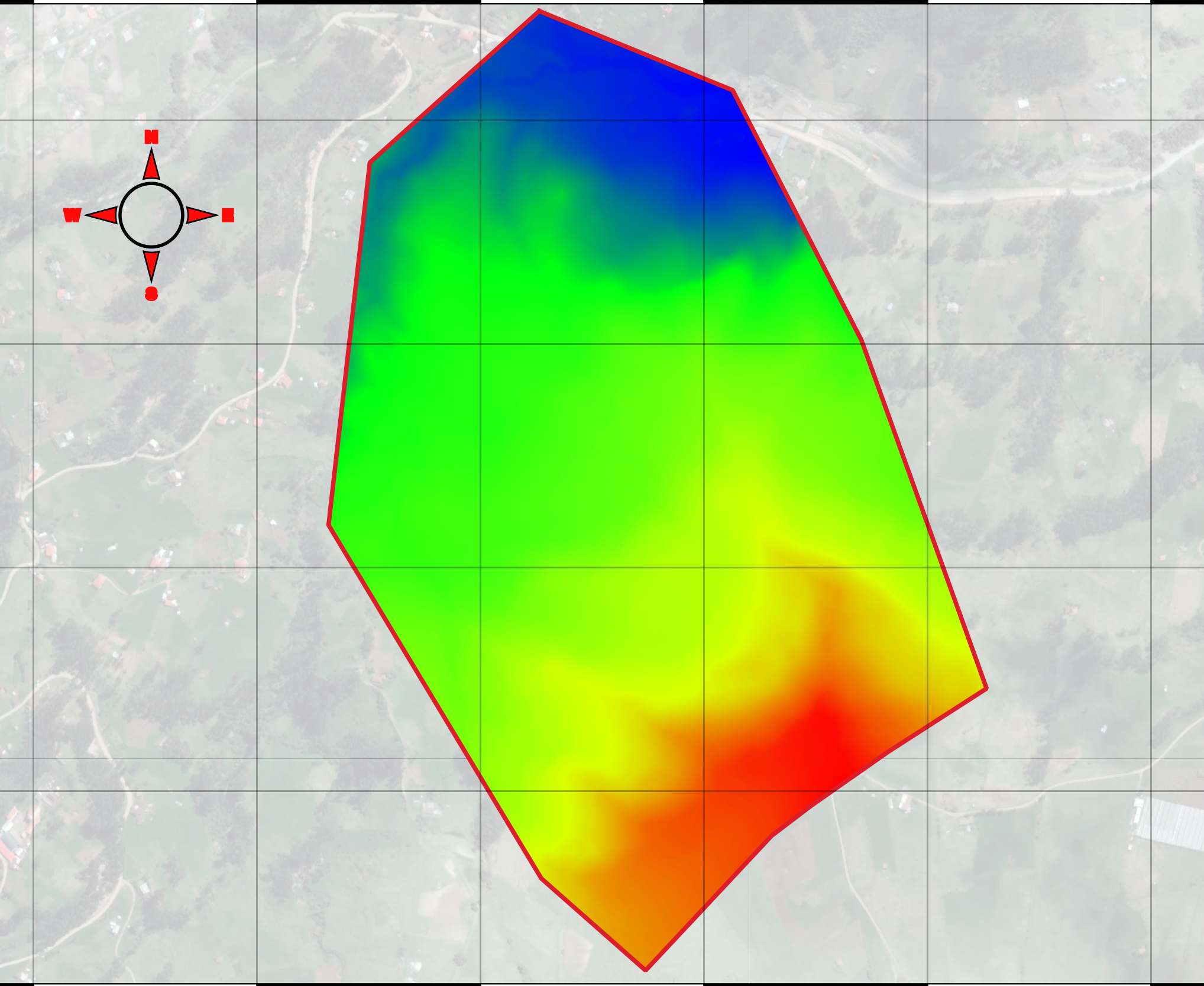
3105.0618

3105.0618



ELABORADO POR: OSKAR CALLE REINOSO

729000 729300 729600 729900 730200 730500



729000 729300 729600 729900 730200 730500

ESCALA GRÁFICA



SISTEMA DE COORDENADAS: WGS-84 ZONA 17S

ESCALA NUMÉRICA: 1:6000

ÁREA: 72 HECTÁREAS

# DSM DEL LUGAR DE ESTUDIO



UNIVERSIDAD  
CATÓLICA DE CUENCA  
SEDE AZOGUES

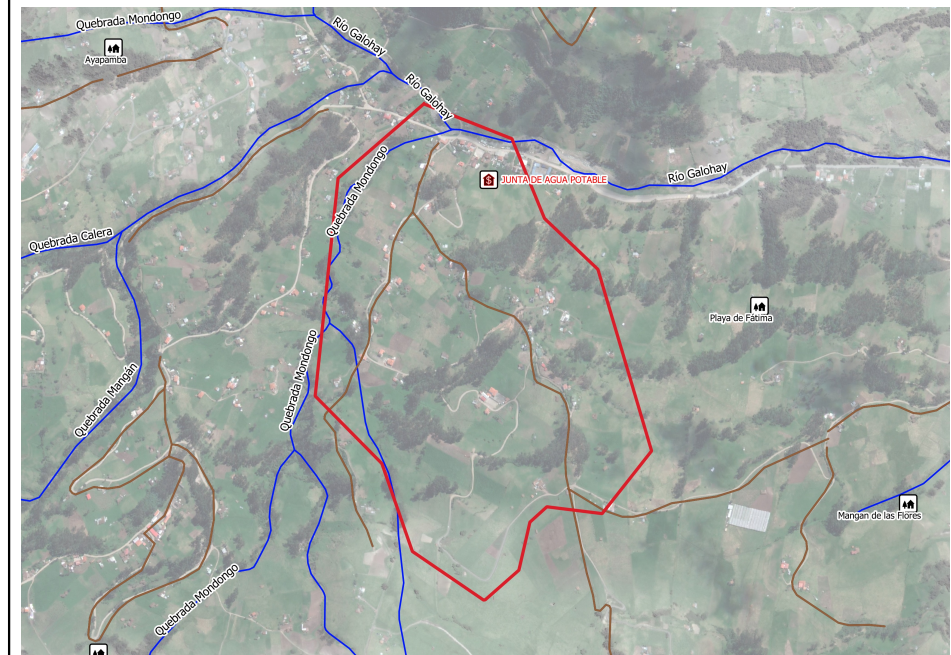
COMUNIDAD: FLOR DEL  
BOSQUE

PARROQUIA: NAZÓN

CANTON: BIBLIÁN

CIUDAD: AZOGUES

## PLANO DE UBICACIÓN



## LEYENDA

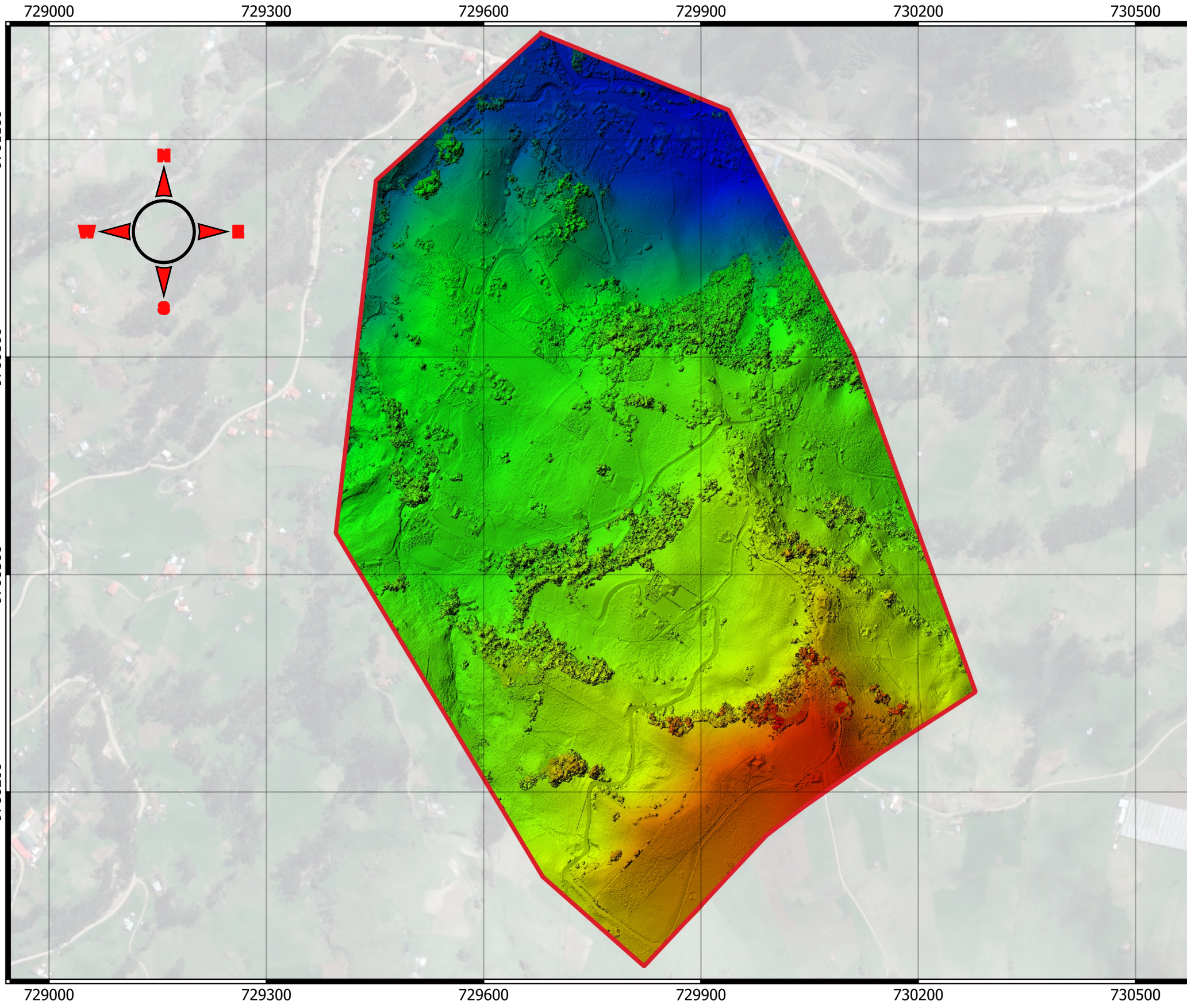
POLÍGONO DE ESTUDIO.

### ELEVACIONES

- 2790.3633
- 2871.4734
- 3033.6934
- 3114.8035



ELABORADO POR: OSKAR CALLE REINOSO



ESCALA GRÁFICA



SISTEMA DE COORDENADAS: WGS-84 ZONA 17S

ESCALA NUMÉRICA: 1:6000

ÁREA: 72 HECTÁREAS

# CURVAS DE NIVEL DEL LUGAR DE ESTUDIO.



Universidad Católica de Cuenca

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA  
SEDE AZOGUES

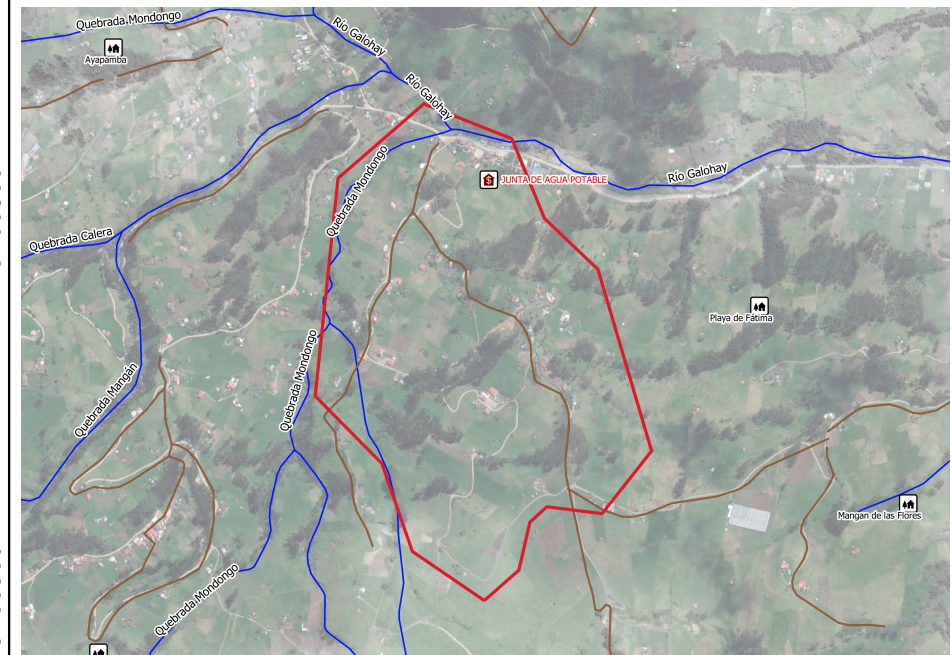
COMUNIDAD: FLOR DEL BOSQUE

PARROQUIA: NAZÓN

CANTON: BIBLIÁN

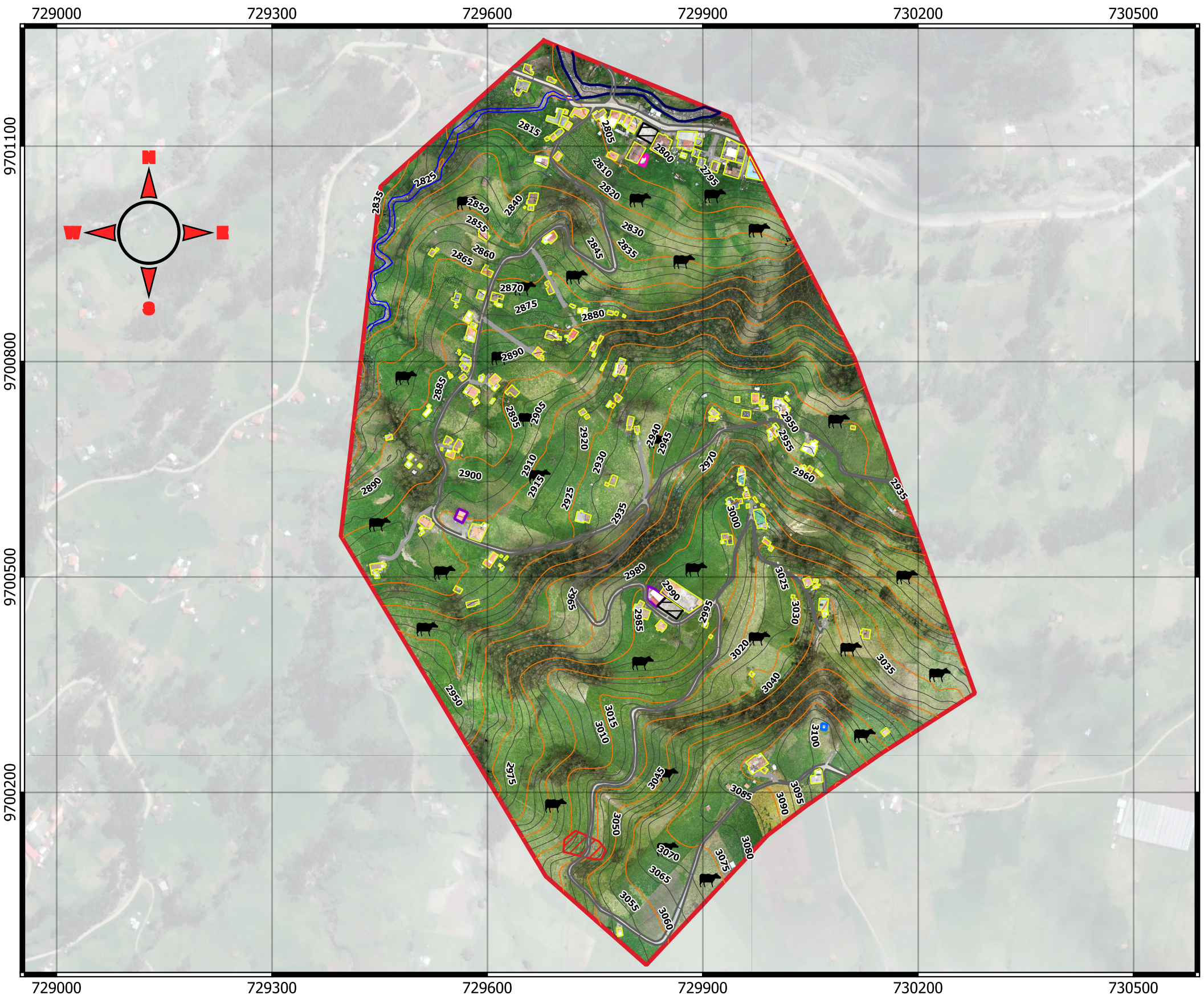
CIUDAD: AZOGUES

## PLANO DE UBICACIÓN

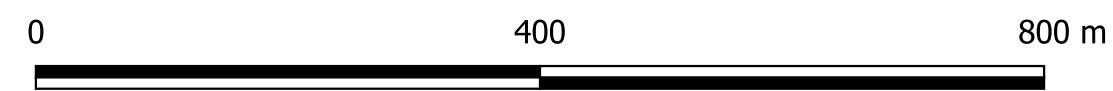


## LEYENDA

- POLÍGONO DE ESTUDIO
- CANCHAS
- VIVIENDAS
- IGLESIAS
- TANQUES DE AGUA
- CASA COMUNAL
- QUEBRADA MONDONGO
- RÍO GALOHAY
- VÍAS FLOR DEL BOSQUE
- ZONA DE PASTOREO
- ZONA DE FALLAS GEOLÓGICAS
- CURVAS CADA 15 METROS
- CURVAS CADA 5 METROS



ESCALA GRÁFICA



SISTEMA DE COORDENADAS: WGS-84 ZONA 17S


ESCALA NUMÉRICA: 1:6000

ÁREA: 72 HECTÁREAS

*Oskar Calle*



ELABORADO POR: OSKAR CALLE REINOSO

 <p>Universidad Católica de Cuenca</p>	<p><b>CERTIFICADO DE NO ADEUDAR LIBROS EN BIBLIOTECA</b></p>	<p>CÓDIGO: F – DB – 31 VERSION: 01 FECHA: 2021-04-15 Página 1 de 1</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------

El Bibliotecario de la Sede Azogues

**CERTIFICA:**

Que, **Oskar Miguel Calle Reinoso** portador(a) de la cédula de ciudadanía N° **0302697628** de la Carrera de Ingeniería Civil, Sede Azogues, Modalidad de estudios presencial no adeuda libros, a esta fecha.

Azogues, **03 de septiembre del 2021.**



**Byron Alonso Torres Romo**

**Bibliotecario** Biblioteca Universitaria  
MONS. "FROILAN POZO QUEVEDO"

Ingeniero  
Ricardo Romero González  
**DIRECTOR DE CARRERA**

Ingeniero  
Emanuel Ortega Cárdenas  
**DOCENTE TUTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN**  
**INGENIERÍA CIVIL SEDE AZOGUES**  
Ciudad

**ASUNTO:** Índice de similitud del trabajo de titulación de la estudiante  
**Oskar Miguel Calle Reinoso.**

**REFERENCIA:**  
Email V.E.O.C. 20210809

Reciban un cordial y atento saludo; en atención a la solicitud en referencia adjunto el presente **ÍNDICE DE SIMILITUD TURNITIN** del trabajo de titulación: "Procedimiento para levantamiento fotogramétrico usando RPA's como herramienta en el campo de la topografía y difusión con realidad virtual.", elaborado por el estudiante *Calle Reinoso Oskar Miguel*. El resultado presenta un índice de similitud del TRES POR CIENTO (03%), siendo menor al límite establecido en el *Reglamento de la Unidad de Titulación*, y en consecuencia **APTO** para continuar con el proceso de titulación. Adjunto el documento completo revisado por el sistema Turnitin.



Particular que pongo a su conocimiento para fines pertinentes.

Atentamente;  
DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO

Firmado electrónicamente por:  
**CRISTIAN ARTURO VINTIMILLA ULLOA**  
Ing. Cristian Arturo Vintimilla Ulloa MSc.  
**RESPONSABLE DE UNIDAD DE TITULACIÓN**  
**INGENIERÍA CIVIL SEDE AZOGUES**

**Oskar Miguel Calle Reinoso** portador(a) de la cédula de ciudadanía N° **0302697628**. En calidad de autor/a y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación **“Procedimiento para levantamiento fotogramétrico usando RPA’S como herramienta en el campo de la topografía y difusión con realidad virtual.”** de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos y no comerciales. Autorizo además a la Universidad Católica de Cuenca, para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Azogues, **29 de agosto de 2021**



F: .....

**Oskar Miguel Calle Reinoso**

**C.I. 0302697628**



Sr. Byron Alonsó Torres Romo  
Bibliotecario

Biblioteca Universitaria  
MONS. FROILAN POZO QUEVEDO