



UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

TESIS

**COMPARACIÓN DE PRECISIÓN Y TIEMPO EN
LEVANTAMIENTO CON GPS Y DRONE.**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

**INGENIERO TOPÓGRAFO E
HIDRÓLOGO**

PRESENTA:

MARIANO GÓMEZ SÁNTIZ

DIRECTOR:

MTRO. DANIEL ALEJANDRO GALLEGOS PÉREZ

CODIRECTORES:

MTRO. NOÉ GÓMEZ SÁNTIZ

ING. MARCO CRUZ JESÚS

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

Noviembre de 2020





Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas
Dirección de Servicios Escolares
Departamento de Certificación Escolar
Autorización de impresión



Lugar: Tuxtla Gutiérrez, Chiapas

Fecha: 18 de noviembre de 2020

C. Mariano Gómez Santiz

Pasante del Programa Educativo de: Ingeniería Topográfica e Hidrología

Realizado el análisis y revisión correspondiente a su trabajo recepcional denominado:
"Comparación de precisión y tiempo en levantamiento con GPS y drone "

En la modalidad de Tesis Profesional

Nos permitimos hacer de su conocimiento que esta Comisión Revisora considera que dicho documento reúne los requisitos y méritos necesarios para que proceda a la impresión correspondiente, y de esta manera se encuentre en condiciones de proceder con el trámite que le permita sustentar su Examen Profesional.

ATENTAMENTE

Revisores

Dr. José Armando Velasco Herrera

Dr. José Fermín Molina Molina

Mtro. Daniel Alejandro Gallegos Pérez

Firmas:

[Firma]
[Firma]
[Firma]

C.c.p.- Expediente

Agradecimiento

Le agradezco a Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo felicidad.

Le doy gracias a mis padres Gómez López Tomas y Santiz Gómez Rosa por apoyarme en todo momento, por los valores que me han inculcado, y por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación en el transcurso de mi vida. Sobre todo, por ser un excelente ejemplo de vida a seguir.

A mi hermano Gómez Santiz Noé por estar a mi lado apoyándome, por su paciencia, por todo lo que me ha ayudado y enseñado durante el proceso de la investigación

Agradecer todos mis hermanos y hermanas por el apoyo moral y condicional durante la carrera y en el proceso de la investigación.

Quiero agradecer enormemente a la DIDESINT S.A de C.V., quienes brindaron la posibilidad de acceder a sus oficinas y prestaron toda la ayuda posible, para poder realizar los levantamientos fotogramétricos.

Agradecer al cuerpo académico de la facultad por apoyarme en este proceso para la formación y por los conocimientos impartidos.

A todos los que de una manera u otra me han ayudado. Gracias.

INDICE

INDICE.....	I
INDICE DE FIGURA.....	IV
INDICE DE TABLA.....	VI
RESUMEN.....	VII
ABSTRACT.....	VIII
Capitulo I: Introducción.....	1
1.1 Planteamiento del problema	1
1.2 Estado del arte	3
1.3 Pregunta de investigación	5
1.4 Objetivos	5
1.4.1 General	5
1.4 .2 Especifico	5
1.5 Hipótesis	5
1.6 Metodología	6
Capitulo II. Marco teórico: topografía y fotogrametría.....	7
2.1 Topografía.....	7
2.1.1 División de la topografía	8
2.2 Método de levantamiento topográfico	9
2.2.1 Método directo (topográfico)	10
2.2.2 Método de levantamiento indirecto (fotogrametría).....	12
2.3 Reseña histórica de los vehículos aéreos no tripulados (UAVs).....	13
2.4 Definición de los vehículos aéreos no tripulados.	14
2.5 Clasificaciones de las aeronaves	15
2.5.1. Uso Drones militares.....	17
2.5.2 Uso de Drones civiles	17
2.5.3 Uso de Dron en la topografía.....	18
2.5.4 Ventajas y desventajas del uso del dron.....	19
2.6 Clasificación de dron según su peso.....	20
2.6.1 Drones micro.	21
2.6.2 Drones pequeños.....	21
2.6.3 Drones grandes	21

2.7 Fundamentos legales para uso y comercialización.....	21
2.8 Principales componentes de un drone.....	23
2.8.1 Marco frames.....	24
2.8.2 Batería.....	24
2.8.3 Motores.....	24
2.8.4 Hélices.....	25
2.8.5 Radio receptor (mando).....	25
2.8.6 Brújula magnética.....	26
2.8.7 Barómetro/ Altimetro.....	26
2.8.8 Sensores.....	27
2.9 Fotogrametría.....	27
2.9.1 Clasificación de la fotogrametría.....	28
2.9.2 Ventajas y Desventajas.....	29
2.10 Fotogrametría digital.....	30
2.11 Precisión.....	31
Capítulo III. Metodología.....	33
3.1 Levantamiento convencional (directo).....	33
3.1.1 Descripción de la zona de estudio.....	33
3.1.2 Equipo y material utilizado.....	34
3.1.3 Precisión del equipo utilizado.....	34
3.1.4 Sistema de proyección utilizado.....	35
3.1.5 Técnica de recolección de datos con GPS RTK GRX2 Sokkia.....	35
3.1.6 Descripción de trabajo de campo.....	35
3.1.7 Procesamiento de datos.....	36
3.2 Levantamiento indirecto (fotogramétrico).....	37
3.2.1 Plan de vuelo.....	39
3.2.3 Consideraciones del GSD y altura de vuelo.....	40
3.2.4 Recubrimiento o traslapes.....	40
3.2.5 Variaciones de altura.....	41
3.2.6 Dimensiones de la misión del vuelo.....	41
3.2.7 DroneDeploy.....	43
3.2.8 Configuración de la rejilla.....	45

3.2.9 Configuración del proyecto	47
3.2.10 Consideraciones adicionales del plan de vuelo	48
3.3 Apoyo terrestre.....	48
3.3.1 Puntos de apoyo.....	49
3.3.2 Ubicación de los puntos de apoyo	50
3.3.3 Señalización de los puntos de apoyo.....	51
3.3.4 Colocación de los puntos de apoyo	52
3.4 Adquisición de fotografías aéreas	53
3.4.1 Preparación del equipo	53
3.4.2 Ejecución del vuelo fotogramétrico	54
3.4.2.1 Preparación del drone.....	54
3.4.2.2 Ejecución del vuelo	55
3.4.2.3 Condiciones del uso del Mavic 2 pro DJI	57
3.5 Procesamiento de imágenes del vuelo	57
3.5.1 Agisoft PhotoScan	58
3.5.2 Versiones de software (Software y Hardware).....	58
3.5.3 Proyecto de levantamiento de un canal de la UNICACH	58
3.5.3.1 Creación de proyecto en Agisoft PhotoScan	58
3.5.3.2 Procesamiento inicial	59
3.5.3.3 Nube de puntos y malla	67
3.5.3.4 DSM, Orto mosaico.....	72
Capitulo IV. Análisis de resultado: tiempo y precisión de método directo e indirecto.....	74
4.1 Resultado de puntos (método directo)	74
4.1.1 Resultado de puntos (método indirecto)	75
4.2 Resultado de Tiempo	80
Conclusiones y recomendaciones.....	82
Bibliografía.....	84

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Relieve de un terreno.....	9
Figura 2 Curvas maestras e intercaladas.....	11
Figura 3 Cronología de los nombres aplicados a las aeronaves robóticas.....	15
Figura 4 Principales tipos de aeronaves.....	16
Figura 5 Partes del dron.....	24
Figura 6 Ejemplos visuales de precisión y exactitud.....	32
Figura 7 Ubicación de la zona de estudio.....	33
Figura 8 Estación base GPS RTK.....	36
Figura 9 Metodología para determinar el Tiempo y Precisión de un levantamiento fotogramétrico.....	38
Figura 10 Pantalla principal DroneDeploy.....	43
Figura 11 Pantalla de configuración, altura de vuelo, traslapes y dimensión de la misión.....	44
Figura 12 Ventana, un nuevo plan de vuelo.....	44
Figura 13 Configuración de la rejilla.....	45
Figura 14 Forma de la rejilla.....	46
Figura 15 Tiempo y la altura de vuelo.....	47
Figura 16 Proyecto de vuelo con las misiones proyectadas e información por misión.....	48
Figura 17 Distribución correcta de GCP.....	51
Figura 18 Tipos de marcas de GCP.....	51
Figura 19 Marca en terreno en zona construida.....	52
Figura 20 Previa revisiones del dron antes del vuelo.....	53
Figura 21 Alertas previas del vuelo.....	55
Figura 22 Pantalla inicio software Agisoft de PhotoScan.....	59
Figura 23 Crear un nuevo proyecto.....	59
Figura 24 Elegir idioma.....	60
Figura 25 Abrir el lenguaje de computo abierto del CPU.....	59
Figura 26 Importar fotos.....	61
Figura 27 Sistema de coordenadas en Agisoft PhotoScan.....	61
Figura 28 Calibración de la cámara.....	62

Figura 29 Orientación de la cámara.....	62
Figura 30 Orientación terminada, resultado.....	63
Figura 31 Ubicación de los puntos GCP en el software.....	63
Figura 32 Ubicación del número de marcador.....	64
Figura 33 Marca plateada.....	64
Figura 34 Marca azul software falta para afinarlo.....	65
Figura 35 Marcas corregidas correctamente.....	65
Figura 36 Optimizar cámaras.....	66
Figura 37 Detalle de GCP con control terrestre de altura 100 m.....	66
Figura 38 Detalle de GCP con control terrestre de altura 140 m.....	66
Figura 39 Herramienta tijeras inteligentes.....	67
Figura 40 Añadir o cortar mascararas.....	67
Figura 41 Crear nube de puntos densa.....	68
Figura 42 Resultado de la nube de puntos densa.....	68
Figura 43 Clasificación de nube de puntos.....	69
Figura 44 Ajustes en clasificación.....	69
Figura 45 Clasificación de la nube de puntos densa.....	70
Figura 46 Eliminación de objetos manualmente.....	70
Figura 47 Creación de la malla.....	71
Figura 48 Resultado de la malla a color.....	71
Figura 49 Resultado- malla de sombra y Malla alambre.....	71
Figura 50 Crear MDE.....	72
Figura 51 Curvas de nivel.....	72
Figura 52 Orto mosaico de precisión.....	73
Figura 53: Posición de cámaras y solapamiento de imágenes de vuelo de 100 m.....	77
Figura 54: Posición de puntos de apoyo y estimación de errores de vuelo de 100 m.....	78
Figura 55: Posición de cámaras y solapamiento de imágenes de vuelo de 140 m.....	78
Figura 56: Posición de puntos de apoyo y estimación de errores de vuelo de 140 m.....	79
Figura 57 Grafica de diferencia de tiempo.....	81

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Componentes de la topografía.....	8
Tabla 2 Términos homólogos del drone.....	14
Tabla 3 Características de varias naves.....	17
Tabla 4 Diversas aplicaciones del drone.....	19
Tabla 5 Ventajas del drone en la ingeniería.....	20
Tabla 6 Ventajas por tipo de ala del drone.....	20
Tabla 7 Clasificación de sistemas de aeronaves pilotadas a distancia.....	21
Tabla 8 Tipos de salida de fotogrametría.....	29
Tabla 9 ventajas y desventajas de la fotogrametría digital.....	31
Tabla 10 Precisión y especificaciones del equipo Sokkia RTK.....	34
Tabla 11 Recomendación para traslapes de vuelos fotogramétricos.....	40
Tabla 12 Lista de revisión previa al inicio de la misión.....	56
Tabla 13 Datos de los puntos de control de equipo GPS Sokkia GRX2.....	74
Tabla 14 Resultado del vuelo fotogramétricos con una altura de 100 m.....	75
Tabla 15 Resultado del vuelo fotogramétricos con una altura de 140 m.....	75
Tabla 16 Diferencia de la precisión del vuelo 100 y 140.....	76
Tabla 17 Variantes de tiempo.....	80

RESUMEN

La presente investigación denominado “Comparación de precisión y tiempo en levantamiento directo e indirecto” tiene como objetivo general en comparar la precisión y tiempo en levantamiento fotogramétrico y topográfico, con ello utilizando drone Mavic 2 pro facilitado por la empresa colaboradora, utilizando un GPS rtk en el levantamiento directo.

El trabajo de investigación se describe un levantamiento en un canal pluvial ubicado en las instalaciones de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas(UNICACH), la trayectoria de drone se ha programado a través de la aplicación DroneDeploy con para reducir el mayor error posible. El procesamiento de datos, es decir, la fotogrametría se realizó con Agisoft PhotoScan con esto por ser unos softwares libres.

Como resultado se obtuvieron los datos: Norte, Este y Cota de todos los puntos que se necesita (puntos de control), además se realiza un levantamiento topográfico con GPS RTK GRX2 de los mismos puntos, el cual se evaluó a través de los resultados del procesamiento con el software de fotogrametría tomando como la base el levantamiento topográfico, con cual se concluye el levantamiento directo con mayor precisión y mayor tiempo en el levantamiento, por tanto, la fotogrametría con drone es menos precisa con menor tiempo de la recolección y procesamiento de datos.

Palabras claves: drone, fotogrametría, precisión, topografía.

ABSTRACT

The present investigation called "Comparison of precision and time in direct and indirect survey" has the general objective of comparing the precision and time in photogrammetric and topographic survey, with it using the Mavic 2 pro drone provided by the collaborating company, using a GPS rtk in direct survey.

The research work describes a survey in a pluvial canal located in the facilities of the University of Sciences and Arts of Chia-pas (UNICACH), the drone trajectory has been programmed through the DroneDeploy application to reduce the biggest possible mistake. The data processing, that is, the photogrammetry was carried out with Agisoft PhotoScan with this being free software.

As a result, the data were obtained: North, East and Elevation of all the points that are needed (control points), in addition a topographic survey with GPS RTK GRX2 of the same points is carried out, which was evaluated through the results of the processing with the photogrammetry software taking as the basis the topographic survey, with which the direct survey is concluded with greater precision and longer time in the survey, therefore, the photogrammetry with drone is less precise with less time of the data collection and processing.

Keywords: drone, photogrammetry, precision, topography

Capítulo I: Introducción

1.1 Planteamiento del problema

La topografía es una ciencia que trata de los principios y métodos empleados para determinar las posiciones relativas de los puntos de la superficie terrestre y la descripción de pequeña o grandes dimensiones de terreno, mediante medidas, y compuesta por tres elementos del espacio (Márquez, 1994).

Dichos elementos pueden ser: dos distancias y una elevación; o una distancia, una dirección y una elevación, cabe mencionar que en la presente investigación se representan por X, Y y Z respectivamente, esto es una disciplina cuya aplicación está presente en la mayoría de las actividades humanas, por ende, cuando se habla de la superficie terrestre, se hace referencia a campo o naturaleza o bien de ámbito urbano, mismo que se representa por sus características de muros, edificios, calles, carreteras, entre otras (Márquez, 1994)

En la actualidad la topografía dispone muchas técnicas e instrumentos nuevas que permiten realizar mediciones directas (levantamiento con equipos topográficos) o indirectas (equipos aéreos) de la superficie terrestre, estos levantamientos describen de una manera más rápida y eficaz con resultados precisos y confiables, dichas técnicas e instrumentos son indispensables para los especialistas en proyectos (ingenieros topógrafos) relacionados con la obra civil para obtener la información necesaria para un buen análisis de alguna zona en específica (Bentancur, 2012).

Según Raquel (2009) la realización del levantamiento topográfico en el país, conforma una alta gama de desarrollo en el ámbito de equipos y métodos para el trabajo de ingeniería, debido al avance significativo permite análisis más completo, las actividades topográficas son las que se realizan en el campo con el objeto de capturar la información para la cual se requiere la presencia de un profesional del área, labor técnicamente realizada por un topógrafo o por un técnico bajo la supervisión del mismo.

Para Qquelca (2015) menciona que los avances tecnológicos precipitado, genera que los profesionales tengan que actualizarse constantemente con un sistema que combine la utilización de captura de datos mediante diversos softwares¹ alternativos, esto conlleva que la fotogrametría juegue un papel importante.

Cabe resaltar que los levantamientos aéreos eran inaccesibles por los altos costos económicos desde su servicio a su post procesamiento, sin embargo, en la actualidad, los Vehículos Aéreos No Tripulados comúnmente llamados (VANT) por sus siglas, constituyen una plataforma tecnológica de buena accesibilidad que se adaptó para los trabajos topográficos con precisiones bastante confiables, misma que proporciona innovación en el trabajo, menor costo y tiempo (Qquelca, 2015). Para Hilario Qquelca, las imágenes que se obtienen con los drones son de mayor resolución que la convencional, por tanto, de mayor precisión y confiabilidad (Qquelca, 2015).

El drone es un vehículo aéreo no tripulado que no lleva a bordo un operador humano, sin embargo, es manipulado por una o varias personas a nivel de piso, que puede ser usado para fines de entretenimiento y para trabajo de ingeniería en este caso para la obtención de información real, para algún caso de estudio de diversas índoles (Esteban, 2015).

A través de los drones especializados en trabajos de ingeniería, se pueden obtener información ráster (compuesta por píxeles; imágenes) y vector (por puntos y líneas) mediante fotografías aéreas que arrojan dicho instrumento, para tratar temas o trabajos como; curvas de nivel, ubicación de puntos, deslinde de terreno, por mencionar algunas (Esteban, 2015).

Las aplicaciones en el trabajo de fotogrametría con drone, en la presente investigación se obtuvieron datos para el procesamiento de información con la finalidad de obtener curvas de nivel en ambos levantamientos (directa e indirecta) de la

¹Conjunto de datos y programas que maneja un ordenador donde es la parte lógica o inmaterial de un sistema informático para poder almacenados en el ordenador en forma de ceros y unos. (Wolf, *et al.*, 2015)

canal pluvial, ubicada en las instalaciones de Ciudad Universitaria (CU) de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (UNICACH).

1.2 Estado del arte

En lo siguiente se muestran trabajos e investigaciones realizadas de diferentes autores que ayudaron con la presente investigación.

Soledad (2015). En su tesis de proyecto de fin de grado presentada en la escuela técnica superior de ingenieros de minas y energía, universidad politécnica de Madrid, titulada “Modelos digitales del terreno mediante fotogrametría aérea realizada con un vehículo aéreo no tripulado” un estudio que realizo en el objetivo de la fotogrametría UAVs (vehículo aéreos no tripulados, comúnmente llamado drones) como una alternativa a las otras técnicas de fotogrametría aérea, el autor menciona para construir el modelo digital del terreno sobrevolado, posteriormente pueden ser utilizados por cualquier equipo de trabajo que quiera desarrollar un proyecto sobre esos terrenos, el campo de los drones seguirá en constante desarrollo y evolución, debido a que pueda ser igual de profesional y efectivo utilizando medios de menor coste en el campo de trabajo de ingeniería.

Sedano y Parí (2018). En su tesis de investigación académica, para obtener el grado de ballicher en ingeniería civil de la facultad de ingeniería en la universidad privada del norte, Lima, Perú titulada “Ventajas en los levantamientos topográficos con el uso de vehículos aéreos no tripulados (UAV)” estudio el realizo con el objetivo de determinar los procedimientos para un levantamiento topográfico y procesamiento hasta llegar a la obtención de mapas y modelos digitales del terreno, realizando mediante fotogrametría aérea, utilizando un vehículo aéreo no tripulado, para llegar al resultado tuvo que identificar los pasos y lineamientos para un levantamiento topográfico a lo largo de la historia, teniendo en cuenta las limitaciones y dificultades de cada época y los factores que han cambiado según la tecnología de su tiempo y la comparación de resultados obtenidos a partir de las técnicas de recolección de datos en el campo (levantamiento convencional y levantamiento con drones) teniendo en cuenta la precisión y tiempo, la cual llevo a concluir que son las

afectuosa con los acceso de millones de puntos con el drone que con la convencional el costo final resulta siendo 60% más bajo que con topografía convencional.

Sánchez (2017), en su tesis presentada en la facultad de ingeniería, en la escuela académico profesional de ingeniería civil en nuevo Chimbote-Perú, titulada “Determinar el grado de confiabilidad del levantamiento con drone en la plaza san Luis-.2017” un estudio con el objetivo de determinar el grado de confiabilidad de un levantamiento topográfico con drone en la plaza mayor de San Luis, con los siguientes pasos para llegar al objetivo principal cual primero fue determinar la precisión de un levantamiento topográfico con drone, la segunda determinar la exactitud del levantamiento topográfico con drone y al final elabora un manual acerca de la utilización del drone para realizar un levantamiento topográfico, el trabajo fue desarrollado para la finalidad de encontrar medidas precisas y determinar el grado de confiabilidad el levantamiento topográfico, realizado con un drone en comparación que el que realizas con una estación total.

Corredor (2015) en su tesis presentada en la Universidad Militar Nueva Granada de Bogotá, Colombia, titulada “Implementación de modelos de elevación obtenidos mediante topografía convencional y topografía con drones para el diseño geométrico de una vía en rehabilitación sector Tuluá – Rio Frio”, un estudio con el objetivo de implementar modelos de elevación obtenidos mediante topografía convencional y topografía con drones para el diseño geométrico de 12,62 kilometro (km) de una vía en rehabilitación, en el departamento del Valle del Cauca en el Sector Tuluá – Rio Frio, con el objetivo de realizar un levantamiento convencional y levantamiento con drone, y realizó comparaciones de modelos digitales de dichos levantamientos, concluyendo el corredor vial objeto de estudio, llevó a cabo en una zona con muy buenas condiciones topográficas; los levantamientos topográficos realizados con drones permiten ser utilizados en gran cantidad de proyectos de consultoría, debido a que economizan tiempo en la recolección de información, presentando alta precisión en el diseño de vías, recomienda trabajar con las dos técnicas de captura en forma conjunta ya que la topografía convencional proporciona información más detallada lo que permite hacer una mejor descripción de obras, mientras

que la topografía con dron permite capturar una amplia zona del terreno con mayor precisión.

1.3 Pregunta de investigación

¿La precisión y el tiempo en la fotogrametría con el sistema de aéreo no tripulado es igual a la de un levantamiento directo (levantamientos con equipos topográficos)?

1.4 Objetivos

1.4.1 General

Comparar la precisión y tiempo en levantamiento directo e indirecto (fotogramétrico y topográfico) en el canal pluvial que atraviesa las instalaciones UNICACH libramiento Norte, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

1.4 .2 Especifico

- 1.- Recolección de datos del levantamiento con GPS Sokkia RTK en el canal pluvial que atraviesa la UNICACH libramiento Norte, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.
- 2.- Levantamiento y procesamiento de vuelo fotogramétrico con dron, de dos diferentes alturas de vuelo, en el canal pluvial que atraviesa la UNICACH libramiento Norte, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.
- 3.- Analizar la precisión y tiempo de levantamiento directo e indirecto del canal pluvial que atraviesa la UNICACH libramiento Norte, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

1.5 Hipótesis

Aplicando la fotogrametría con el sistema de aéreo no tripulado, de acuerdo a la altura de vuelo mejorará la precisión del levantamiento de datos, en menor tiempo a comparación de los datos obtenidos mediante los levantamientos con quipos topográficos.

1.6 Metodología

Capítulo I. Introducción. Se plantea el problema y se indaga en contornos de la investigación con proyectos similares y sustentantes en el presente trabajo, en este aparatado de igual manera, se mencionan los objetivos de la investigación tanto como la hipótesis y la metodología utilizada.

Capítulo II. Marco teórico. En primer lugar, se contextualiza el trabajo repasando las características de la zona, a continuación, en el mismo capítulo se presenta, a nivel general los conceptos de topografía y fotogrametría abordando sus divisiones, así mismo, se tendrá acceso a las tecnologías e instrumentos para los levantamientos indirectos y sus procesos, que da las posibilidades de conocer la existencia de estos hardware y software (herramientas y programas) para desarrollar la metodología.

Para finalizar este capítulo, se realiza el análisis de los conceptos de exactitud y precisión para culminar la inspección que desarrolla dentro del objetivo de la presente investigación.

Capítulo III. Metodología. En este apartado se centrará en las aplicaciones del drone del levantamiento fotogramétrico, para ello, desarrollar la metodología, en dos partes. La primera se realiza el proceso de levantamiento convencional con los equipos topográficos. En el segundo apartado se desarrolla los procesos de manera exhaustiva los trabajos de recolección de datos en el canal de pluvial de la UNICACH. A lo largo de este proceso se lleva a cabo con un drone, facilitado por la empresa y ayuda para el levantamiento fotogramétrico. Cabe mencionar que se realizarán dos vuelos con diferentes alturas con referente a un previo recorrido del lugar de estudio, así determinar la altura para analizar la exactitud de acuerdo a la planeación de los parámetros de la misión.

Capítulo IV. En este tercer capítulo se dedica en el análisis, y desarrollo de las conclusiones y recomendaciones a futuras líneas de trabajo. Concluiremos finalmente con el capítulo de bibliografías, así como los anexos de resultados del informe del levantamiento del drone.

Capítulo II. Marco teórico: topografía y fotogrametría

En este capítulo se explica e investiga los términos utilizados de la presente investigación tanto los mecanismos de conceptos que cumplen fundamentalmente para el análisis de la construcción objetiva del presente trabajo.

2.1 Topografía

Los orígenes de la topografía datan desde los tiempos de Tales de Mileto y Anaximandro, de quienes se conocen las primeras cartas geográficas y las observaciones astronómicas que añadió Erastogenes, sucesivo en Europa se conocen los aparatos de la topografía esto lleva las nuevas aplicaciones de la topografía más científica y especializada, por estar ligada a representación real del planeta, valiéndose de los nuevos y últimos adelantos tecnológicos (Gayoso, 2018).

La topografía es la ciencia y la técnica de realizar mediciones de ángulos y distancias en extensiones de terreno, para después procesarlas y obtener así coordenadas de puntos, direcciones, elevaciones, áreas o volúmenes, en forma gráfica y/o numérica, según los requerimientos del trabajo, dentro de la Topografía se incluye el estudio de los instrumentos usados por ella, sus principios de funcionamiento, sus componentes y su operación (Márquez, 1994).

La topografía necesita tanto de la ciencia como del arte que posee cada individuo para desenvolverse con destreza al momento de la ejecución de trabajos topográficos, existen muchos trabajos en la topografía la cual es un conjunto de operaciones que tiene por objeto determinar la relativa de ciertos puntos en la superficie terrestre para el trabajo o planteamiento de una obra a construir (Orozco, 2007).

Para ello existen tipos de levantamientos especializados en cada área de estudios que requieren de precisión y obtención de datos en corto tiempo, para una área extensa de zona de estudio en la actualidad la instrumentación topográfica ha variado y avanzado a la par de la electrónica, tanto así mismo para el levantamiento topográfico interactúa la precisión y tiempo, para ello nos lleva solventar estos avances tecnológicos a la par del avance tecnológico en la rama de la ingeniería (Orozco, 2007).

2.1.1 División de la topografía

Los diversos componentes que integran la topografía, se agrupan en tres grandes grupos según Jáuregui (2018); la teoría de errores y cálculo de compensación, la instrumentación y los métodos topográficos, como se observa en la Tabla 1.

Tabla: 1 Componentes de la topografía		
No.	Componentes	Descripción
01.-	Teoría de errores y cálculo de compensación	Constituye la agrupación de los métodos matemáticos que permiten la minimización de los inevitables errores cometidos en las mediciones, y que permiten también establecer los métodos y los instrumentos idóneos a utilizar en los diversos trabajos topográficos, para obtener la máxima calidad en los mismos.
02.-	Instrumentación	En esta división se estudian los diferentes tipos de equipos usados en topografía para llevar a cabo las mediciones, angulares o de distancias, para establecer sus principios de funcionamiento, llevar a cabo su mantenimiento y lograr su óptima utilización.
03.-	Métodos topográficos	Es el conjunto de operaciones necesarias para obtener la proyección horizontal y las cotas de los puntos medidos en el terreno.

Fuente: Adaptado de Jáuregui, 2018.

Cabe mencionar que obtención de las proyecciones horizontales y cotas de los puntos en los métodos topográficos, se calculan en forma independiente de las cotas de los puntos, diferenciándose entonces en dos grandes grupos; métodos planimétricos y métodos altimétricos (Jáuregui, 2018).

La planimetría, engloba los métodos plan métricos, sólo toma en cuenta la proyección del terreno sobre un plano horizontal imaginario que se supone es la superficie media de La Tierra y la altimetría agrupa los métodos altimétricos, y tiene en cuenta las diferencias de nivel existentes entre los diferentes puntos del terreno (Jáuregui, 2018).

Mientras tanto, Márquez (1994), menciona que la división de topografía la constituye en tres partes; la topología que estudia las leyes que rigen las formas del terreno, así mismo la topometría que establece los métodos geométricos a medida que conlleva esto la plano-grafía que es la representación gráfica de los resultados y el dibujo topográfico.

Lo antes mencionado deduce las operaciones que se ejecutan, para representar el terreno, las divide en tres partes;

Planimetría que estudia los instrumentos y métodos para proyectar sobre una superficie plana horizontal, la exacta posición de los puntos más importantes del terreno y construir de esa manera una figura similar al mismo. Altimetría que determina las alturas de los diferentes puntos del terreno con respecto a una superficie de referencia; generalmente correspondiente al nivel medio del mar. Agrimensura que comprende los procedimientos empleados para medir la superficie de los terrenos y para fraccionarlos. (Márquez, 1994, pág. 3).

2.2 Método de levantamiento topográfico

Los métodos de levantamiento tienen como finalidad obtener por medio de procedimientos técnicos, conjunto de operaciones ejecutadas sobre el terreno, con los instrumentos adecuados, el levantamiento topográfico necesita una serie de mediaciones o triangulaciones, que permite la elaboración del plano de algún lugar o terreno (Posadas, *et al*; 2012).

El levantamiento topográfico consiste en medir de forma directa o indirecta la cantidad de distancias y ángulos necesarios, para describir la forma del terreno y determinar de manera gráfica o analíticamente la superficie o el relieve (Figura 1) (Posadas, *et al*; 2012). El método topográfico consiste en obtener directamente las medidas del predio a escala 1:1; sin embargo, el método fotogramétrico o indirecto, consiste en adquirir medidas dentro de un modelo fotográfico del objeto a una escala reducida (Posadas, *et al*; 2012).

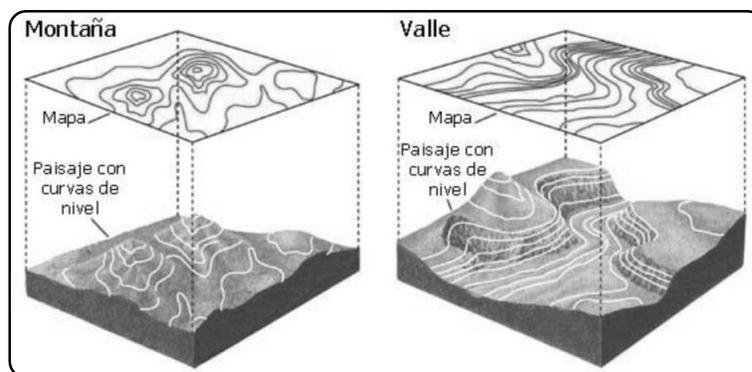


Figura 1: Relieve de un terreno (Posadas, *et al*; 2012)

2.2.1 Método directo (topográfico)

El método de levantamiento de configuración se debe tener las herramientas necesarias para la recolección de datos, este tipo de levantamiento sirve para determinar el relieve de un terreno y su representación se la hace por medio de las curvas de nivel esto refiere que son líneas que unen puntos de igual cota, por lo que refiere tener en cuenta los dos controles que se debe de tomar que son horizontal y vertical (Mejía, 2010).

El control horizontal se obtiene por medio de poligonal o trilateración² y consiste en establecer dos o más puntos en el terreno, y deben tener distancia y dirección para definir las coordenadas (Mejía, 2010).

Mientras tanto el control vertical se lo realiza mediante nivelación, el tipo de nivelación a elegir depende del relieve del terreno, los métodos se efectúan utilizando Banco de Nivel (BM) que ubican dentro o cerca del terreno a levantar, aunque también se puede realizar con un control vertical utilizando receptores GPS (Mejía, 2010).

Una de las grandes ventajas dicho por Casanova (2002) en los levantamientos con GPS RTK³, es que cuenta con una toma de registro automática que elimina los errores de lectura como la; anotación, transcripción y calculo, debido a que los equipos toma datos de forma automática (en forma digital) y los cálculos de coordenadas se realizan por medio de programa automatizadas.

²Consiste en vez de medir ángulos se miden distancias entre todos los lados con distancio metro, las distancias se obtienen en campo hay que reducirlas al horizonte por ello deben medirse también los correspondientes ángulos de inclinación, es decir se deben tomar las lecturas cenitales (Soto,2010).

³Real Time Kinematic (RTK), posicionamiento cinemático en tiempo real, con la tecnología de navegación por satélites a un modem de radio a o un teléfono para obtener correcciones instantáneas, en aplicaciones de ingeniería exigen que el procesamiento y el abastecimiento dé las coordenadas se obtengan al instantáneamente sin la necesidad de un postprocesamiento de los datos (Antichan, 2009).

Según Mejía (2010) una vez determinadas las cotas redondas por cualquiera de los dos métodos (directa o indirecta), se unen los puntos de igual cota y para obtener las curvas de nivel y pueden ser de dos clases de curvas: maestras e intercaladas (Figura 2).

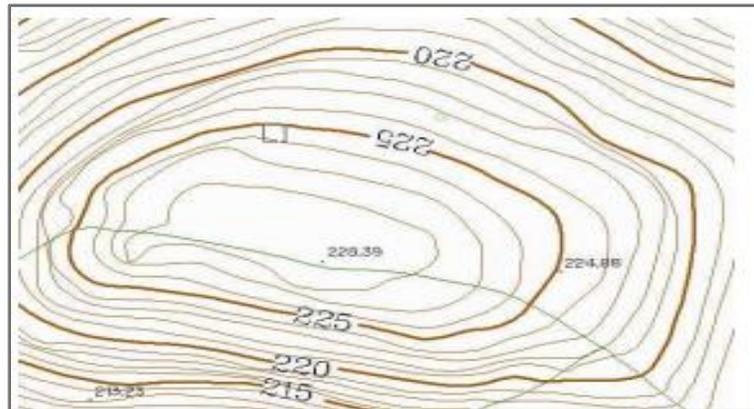


Figura 2: Curvas maestras e intercaladas⁴ (Cartografía II, 2008)

Por tanto, de acuerdo con Mejía (2010) los métodos que existen para determinar curvas de nivel son directo e indirecto. Las cotas redondas son las cotas que se deben unir para trazar las curvas de nivel, por lo general estas cotas no se obtienen directamente en el campo, sino que es necesario realizar una interpolación, la cual se realiza por varios métodos como: por estimación, aritmético y gráfico (Mejía, 2010).

La selección del método para la utilización de recolección de datos se debe tomar en cuenta los siguientes puntos tal como la escala del plano, equidistancia de curvas de nivel, extensión y tipo de área a levantar, costo, equipo, tiempo disponible y como un punto que se debe recalcar más es la experiencia del personal esto recomienda (Mejía, 2010).

⁴ Curvas Maestras son en el de las cotas de la misma son múltiple de la equidistancia son ejemplo Figura 2 con cotas cerradas o líneas gruesas. De igual forma las cotas intercaladas permite precisar mejor la altura debido a su menor equidistancia, se representan con trazos finos o discontinuos (Molina, 2018).

Existen otros levantamientos como los hidrográficos que son un tipo de levantamiento de configuración, como ventaja ayudan a determinar el relieve de la superficie de un terreno, específicamente el relieve del fondo de un río, de un lago o embalse, etc., por lo tanto, este tipo de levantamientos se puede realizar por medio de métodos; indirecto (aéreo) o directo (superficial), cabe mencionar que en algunos casos se emplean los dos métodos, para comparar resultados (vega, 2016)

2.2.2 Método de levantamiento indirecto (fotogrametría)

El estudio de la fotogrametría surge por la necesidad de obtener información en tres dimensiones a partir de información en dos dimensiones; es decir, para ello es necesario conocer el tamaño, las dimensiones y la posición espacial de los objetos (Ortega, 2017).

Mejía (2010) en su investigación basado en los métodos aéreos, que la lleva a cabo mediante la fotogrametría, y recomienda aplicar dicho método para grandes extensiones de terreno, debido a que resulta con menos gasto económico y tiempo, aunado a ello con mayor precisión, los métodos directos son para superficies pequeñas (Mejía, 2010).

Al aplicar los métodos fotogramétricos así mismo (posadas, *et al*; 2012) menciona para el área de levantamiento de un predio o canal, se refiere el mapa la de configuración o levantamiento seccional, es decir las imágenes obtenidas (Raster)⁵ se obtiene delimitado por información del canal (puntos densa), se considera válido el uso de método fotogramétrico para el levantamiento de un predio en general, en particular para la determinación del geo posicionamiento de vértices o puntos.

En la fotogrametría suele ser métrica e interpretativa y en función del modo de obtención puede ser terrestre y aérea. Por lo tanto, la primera sirve para determinar distancias, elevaciones, áreas, volúmenes, etc., por medio de mediciones en las fotografías, la segunda se utiliza para el reconocimiento y análisis de objetos a

⁵ Consta de una matriz de celdas (o píxeles) organizadas en filas o columnas (o una cuadrícula) en la que cada celda contiene un valor que representa información, como la temperatura, los ráster son fotografías aéreas digitales, imágenes de satélites, imágenes digitales o incluso mapas escaneados (INEGI, 2014).

partir de fotografías, la tercera para fotografías tomadas desde puntos situados sobre la superficie terrestre, y la última consiste en tomar fotografías desde el aire, esto se realiza por aéreo, lo cual debe ofrecer seguridad y rendimiento durante los vuelos, puede ser de dos clases: verticales y oblicuas (González, 2007).

El proceso fotogramétrico consta de los siguientes pasos: plan de trabajo, control terrestre, toma de fotografías, proceso de laboratorios de ello las cámaras que se utilizan para tomar las fotografías son similares a las cámaras convencionales solo que estas están diseñadas para cubrir grandes extensiones de terreno y el resultado sean fotografías de gran calidad (Quirós, 2014).

La fotogrametría se basa en conceptos geométricos para deducir algunas fórmulas que son de mucha utilidad para realizar los cálculos, algunas de estas fórmulas son para determinar la escala, la altura de vuelo, las coordenadas y el desplazamiento debido al relieve (Quirós, 2014). La estereoscopia “es la propiedad de poder observar dos imágenes de un mismo objeto desde dos puntos diferentes, pero a igual altura, que al juntarse dan el efecto de relieve” (Casanova, 2002).

2.3 Reseña histórica de los vehículos aéreos no tripulados (UAVs)

La aviación no tripulada comparte sus orígenes en su investigación (Esteban, 2015) menciona que abarca desde sus principios la aviación tripulada desde el momento en que los primeros pasos de los pioneros como Cayley, Ninomiya, Du Temple, Langley o Cody crearon estas primeras aeronaves no tripuladas y aunque a ninguno de ellos se le considera el verdadero creador de este concepto, todos ellos contemplaron el desarrollo inicial de la aviación no tripulada.

Los UAVs se pudo contemplar el desarrollo de torpedos en la primera guerra mundial, los pioneros y tesla no fueron el únicos en desarrollar armas controladas remotamente, en 1888 el inventor irlandés Louis brennam demostró un torpedo controlado remotamente por el rio meadway y en la segunda guerra mundial y la posguerra para donde tuvieron el mayor avance , y al final fue solucionado por Elmer

sperry con el invento de giroestabilizadores integrados, lo que dio paso a los denominados misiles crucero apoyándose en el invento de pionero de la aviación mejorando su invento (Qquelca, 2015).

Desde tiempos remotos hasta la actualidad el desarrollo de estas aeronaves ha sido objeto constantes mejoras, con perdidos más o menos de amplio multiuso siendo hoy en día un objeto de una expansión sin precedente con cientos de plataformas muy diferentes en peso, dimensiones innumerables misiones tanto civiles como militares por llevar a cabo, y hasta la actualidad se han desarrollado con otras funciones como pueden ser en la cinematografía o ingeniería entre otros (Cuerno, *et al*; 2016).

2.4 Definición de los vehículos aéreos no tripulados.

A lo largo del tiempo se ha llamado a los vehículos aéreos no tripuladas (VANT) de numerosas formas o también (UAV), la denominación proviene de sus siglas en inglés (Unmanned Aerial Vehicle), suelen conocerse como drones (Tabla 2). Sin embargo, la palabra drone es un término popular que no resulta muy específico a pesar de su empleo común impuesto debido a ser más coloquial y genérico para ello se han de emplear términos homólogos (López, 2017).

Tabla 2 Términos homólogos	
No.	Descripción
1	Dron/drone (zángano)
2	Vehículos Aéreos no Tripulados(VANT) o sus siglas en inglés: Unmanned Aerial Vehicle (UAV).
3	Remotamente (RPAS).
4	Remotely Piloted Aircraft System - Sistema de aeronave pilotada
5	Rnmanned aircraft system- sistema de aeronaves no tripuladas (UAS).

Fuente: López, 2017.

Los nombres que han ido recibiendo las aeronaves robóticas no tripulada a lo largo del tiempo, como muestra en la Figura 3 (Esteban, 2015)

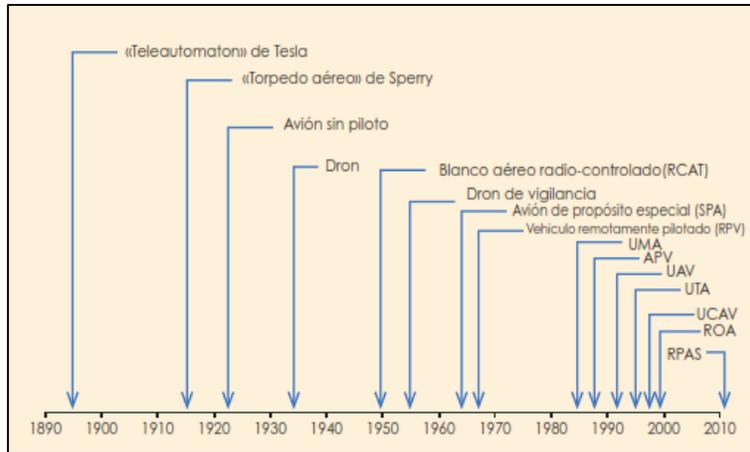


Figura 3: Cronología de los nombres aplicados a las aeronaves robóticas⁶(Esteban, 2015)

Estas denominaciones hacen referencia a la ausencia de tripulación en el vehículo, lo que no es necesariamente sinónimo de autonomía, debido a que, en el intermedio de su desplazamiento existe un control o previa configuración por el técnico operador (López, 2017).

2.5 Clasificaciones de las aeronaves

Existen muchas formas de clasificar las aeronaves, es frecuente utilizar una clasificación atendiendo a la forma en la que la aeronave consigue su sustentación atmosférica, los autores plantean la clasificación simplificada en su siguiente diagrama (Kleinschmidt, 2015).

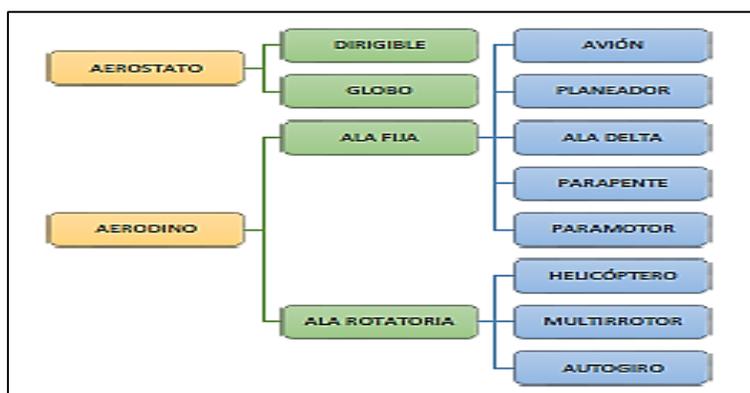


Figura 4: Principales tipos de aeronaves (Zelaya, *et al*; 2016)

⁶ El resto de los acrónimos no definidos se corresponden con: UMA = Unmanned Aircraft; APV = Automatically Piloted Vehicle; UTA = Unmanned Tactical Aircraft; UCAV = Unmanned Comba Air Vehicle; ROA = Remotely Operated Aircraft; RPAS (Sistemas de aeronaves pilotadas a distancia) (Esteban, 2015).

La clasificación de los VANT es en función de sus alas, distinguiendo así entre fijas y móviles o rotatorias (García, 2017).

Alas rotatoria poseen hélices giratorias, generalmente suelen ser cuadricópteros (cuatro motores con hélice), situados en un eje vertical al suelo, los cuales giran dos motores siguiendo el sentido horario de las agujas del reloj y los otros dos en sentido anti horario, creando así la fuerza de empuje necesaria para mover al dron hacia arriba o hacia abajo menciona estos pueden ser de 6, 8 o más hélices, teniendo la consideración de que cuente con un número par de rotores, para garantizar la estabilidad de la aeronave una excepción en el caso de los helicópteros que basta con una hélice superior.

Alas fijas menciona estos poseen alas adosadas en los laterales de la aeronave, las cuales no poseen movimiento propio, son accionadas por motores a los que se les incorporan unas hélices situadas en un plano horizontal al suelo.

Cada aeronave sirve para una cosa u otra, como se observa en la siguiente tabla (3) (García, 2017).

Tabla 3			
Características de varias naves			
Características	Helicópteros	Alas fijas	Multirrotores
Capacidad de vuelo estacionario	3	0	3
Velocidad de desplazamiento	3	4	2
Maniobrabilidad	3	1	4
Autonomía de vuelo	2	3	2
Resistencia al viento	2	4	2
Estabilidad	1	3	2
Capacidad de vuelos verticales	4	1	4
Capacidad de carga	3	4	2
Capacidad de vuelos interiores	2	1	4
Techo de vuelo	2	4	1
Escala de porcentaje	Dónde: 0= nulo, 1= malo, 2= medio, 3=bueno, 4= muy bueno		

Fuente: García, 2017.

2.5.1. Uso Drones militares

Los vehículos no tripulados de combate aéreo o drones de combate, son un tipo de drones exclusivamente utilizado para aplicaciones militares, no se debe caer en el error de pensar que todos los van equipados con armamento, estos se utilizan además de para el ataque y defensa, para misiones de reconocimiento, seguridad de fuerzas terrestres, como blanco aéreo, entre otros, y por tanto cada aeronave irá equipada con una tecnología específica en función de su uso (Haluani, 2014).

En la actualidad, existen más de 30 países que reconocen utilizar de manera asidua este tipo de tecnología. Su éxito radica en la gran precisión que han sido capaces de desarrollar, el menor coste del habitáculo, al no tener que transportar a un piloto, pudiendo llevar más carga útil, además del hecho de no tener que lamentar la pérdida del piloto en caso de que la aeronave sea abatida por todo ello los ejércitos están desarrollando estos equipos, que podrían reemplazar en corto o medio plazo a los aviones tripulados de combate aéreo (García, 2017).

2.5.2 Uso de Drones civiles

Los drones de uso civil son cada vez más comunes y pueden implementarse con sensores y equipo extra para un uso específico para los aficionados, las variedades de características existentes en el mercado.

Hay compañías que se dedican específicamente a la creación de hardware y al diseño de drones con radares para crear mayor autonomía, incluso los hay que pueden navegar sin que alguien los controles de manera remota. Además, hay quienes se dedican a la gestión del espacio aéreo de los drones, a asegurarlos y a conectar a clientes con operadores de drones según sus necesidades y cercanía se puedan conseguir estos dispositivos de acuerdo con (Arteaga, 2016).

En el mercado de la app existen varias aplicaciones destinadas al ocio, que ofrece la posibilidad de grabar videos o capturar fotos con patrones de vuelos pre programados o capaz de grabar al usuario mientras está realizando alguna actividad física o recreativa a su vez pueden ser esto (Arteaga, 2016)

Se utilizan, que van desde reconocimiento, observación y vigilancia hasta bombardeos, los avances en esta área han permitido la integración de modelos UAV menos avanzados, pero no menos útiles, a diversas aéreas de aplicación civil en el Tabla 4.

Tabla 4 Diversas aplicaciones de drones	
Aplicaciones	Ejemplos
Fotografías	Vídeos para fines de marketing y publicitarios (tomas aéreas en películas y coberturas deportivas).
Drone para aficionados	Se utilizan como un juguete y suelen tener precios bastantes económicos
Drone para uso del gobierno	Lucha contra incendios para bomberos, mediante la detección de gases y productos tóxicos y el reconocimiento previo de la zona, reconocimiento fronteras e incluso fiscales.
Vialidad	Monitorización del tráfico (revisión del uso y rendimiento de la red de carreteras).
Servicios de emergencia	Asistencia en servicios de salvamento y rescate más barata y segura.
Ganadería	Control de ganado.
Vigilancia	Control de infraestructuras, canales, aeropuertos, redes ferroviarias.
Topografía	(minería, movimientos de tierra, desarrollo urbano, etc.) y cartografía.
Estudio de tierra	Estudio de geomorfología, (predicción de terremotos, previsión de deslizamientos de tierra, etc.).

Fuente: Zelaya, *et al*; 2016.

2.5.3 Uso de Drone en la topografía

Las aplicaciones de los drones dentro del campo de la topografía, la más utiliza, es en las aplicaciones cartográficas, mediante la creación de mapas catastrales a través de la digitalización de las orto fotografías georreferenciadas, aplicaciones a la prospección y explotación de recursos minerales en el control de obras y evaluación de impactos, como anexo en la aplicaciones en la agricultura en la identificación de tipos de cultivo, recuento de plantas, medición del índice de área foliar, identificación de tipos de suelo y humedad de suelo, medición de la altura de la planta, control de deficiencias de nitrógeno, estimación de la biomasa, etc. (Herrera. *et al*. 2017).

2.5.4 Ventajas y desventajas del uso del drone

Los beneficios principales que se pueden obtener de la utilización pueden resumirse en los siguientes aspectos mencionados (Torrado, *et al*; 2016).

Tabla: 5

Ventajas del drone en la ingeniería

No.	Ventajas
1	No arriesgan vidas humanas en cualquiera de sus aplicaciones.
2	No están limitados por las capacidades humanas en cuanto a aceleraciones
3	No están sujetos a ninguna necesidad ergonómica, el espacio de la cabina de mando puede ser utilizado para albergar todo tipo de sistemas de comunicación, control u operación.
4	Fácil y rápido despliegue en misión.
5	Operación en tiempo real a nivel táctico, operacional y estratégico.
6	Reducen el tiempo de entrenamiento.
7	Adaptabilidad a diversos cometidos gracias a sus cargas útiles modulares.
8	Gran maniobrabilidad y poder de acceso a sitios inaccesibles para vehículos tripulados
9	Menor peso, menor consumo.
10	Menor impacto ambiental tanto de contaminación (menores emisiones de CO2) como de ruido.
11	Menor coste de mantenimiento y elevada relación coste/eficiencia
12	Elevada movilidad, discreción y sigilo

Fuente: Torrado, *et al*; 2016.

Las principales ventajas mencionadas (García, 2017) que se pueden obtener de la utilización de un multirrotor y ala fija son las siguientes:

Tabla: 6

Ventajas por tipo de ala del drone

Ala multirrotor	Ala fija
El despegue y el aterrizaje en vertical, aterrizaje y despegue en un solo punto.	Ahorro de energía al volar vertical, duración de baterías.
Posibilidad de volar en un punto fijo, velocidad baja.	Mayor velocidad, mayor distancia a cubrir o un área mucho mayor.
Mayor precisión y maniobrabilidad.	Falta de detección y vista desde el suelo.
Su diseño les permite transportar mayor carga de peso, en relación con su propio tamaño.	Tienen una mayor resistencia a la temperatura, viento y lluvia.

Fuente: García, 2017.

Las limitaciones esto a pesar de las enumeradas ventajas de la implementación del equipo, tanto como en el ámbito civil como militar, menciona Jaime., (2018) los siguientes puntos de desventajas actualmente son dependientemente de una estación de control en tierra (según su grado de autonomía) tanto como la vulnerabilidad y limitada capacidad de defensa, sus limitaciones de peso y volumen de equipos a bordo y las dificultades de integración en el espacio aéreo (ya que en el país no existe una normativa que regule el tráfico aéreo de estas aeronaves dentro de la aviación civil) (Puerta, 2015)

2.6 Clasificación de dron según su peso

La regulación del uso de Vehículos Aéreos No Tripulados, mejor conocidos como Drones, ha sido hasta el momento controlada por la SCT (Secretaría de Comunicaciones y Transportes) a través de la DGAC (Dirección General de Aeronáutica Civil) en nuestro país según Olivera (2016).

Han sido emitidas una serie de circulares para regular de manera general el uso de los drones a partir de abril de 2015, a través de una circular menciona las restricciones que se establecen dependen de la clasificación del Vehículo que puede ser de acuerdo a su peso o el uso que se le dé y dividiendo el peso en tres categorías por Olivera (Tabla 7) (2016).

Tabla 7 Clasificación de sistemas de aeronaves pilotadas a distancia		
Peso máximo de despegue	Categorías	Uso
2 kg o menos	RPAS micro	Privado recreativo
		Privado no comercial
		Comercial
Más de 2 kg hasta 25 kg	RPAS pequeño	Privado recreativo
		Privado no comercial
		Comercial
Más de 25 kg	RPAS grande	Privado recreativo
		Privado no comercial
		Comercial

Fuente: Olivera, 2016.

2.6.1 Drones micro.

Para las restricciones emitidas del desarrollo por el peso de cada equipo con las velocidades máximas operacionales varían según su peso, para Castellanos (2017) los más pequeños, desde 0.001 kilogramos podrán volar hasta a 55 kilómetros por hora; los que pesen 2 kilos, podrán volar a máximo 20.89 kilómetros por hora. Sólo los primeros pueden ser operados sin necesidad de permiso de la DGAC (Dirección General de Aeronáutica Civil), pero si son usados con fines comerciales deben contratar un seguro de daños a terceros (Olivera, 2016).

2.6.2 Drones pequeños

Para los vuelos recreativos, el operador deberá estar inscrito en clubes de aeromodelismo aprobados que avalen su capacidad como piloto de dron y regirse bajo sus reglas de operación en México solicitar este requisito en DGAC Para el uso comercial, requerirá además de: etiqueta de identificación, aprobación de operación, aprobación de piloto de RPAS vigente, manual de operaciones, libro de bitácora y estudio aeronáutico de seguridad y administración de riesgos cita (Castellanos, 2017).

2.6.3 Drones grandes

Los operadores de grandes drones requieren de licencia de piloto de RPAS, certificado de matrícula y certificado de aeronavegabilidad vigentes de acuerdo con Castellanos (2017), así como una aprobación de tipo de RPAS grande, la cual se obtendrá mediante el cumplimiento de las directivas de aeronavegabilidad, los boletines de servicio, el control de componentes y los comprobantes de servicios de mantenimiento, entre otras normatividades emitidas por la autoridad aeronáutica.

2.7 Fundamentos legales para uso y comercialización

El marco normativo condensado de los requerimientos de la NOM van dirigidos tanto a los operadores de drones como a las empresas que comercializan estas aeronaves en México, todos los drones deberán ser registrados mediante el formulario disponible en el sitio de la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC), donde el

usuario también tendrá que reportar cualquier modificación mecánica o de software que realice a su RPAS (Castellanos, 2017)

Los drones que se utilicen para aerofotografía, Aero topografía y levantamiento orográfico necesitarán autorización de la Secretaría de la Defensa Nacional (SEDENA). Los que tomen fotos con cámaras métricas o de reconocimiento necesitarán también un permiso de la Dirección General de Geografía y Medio Ambiente del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (Castellanos, 2017).

La comercialización de estos productos para los Fabricantes o importadores que deseen vender RPAS en México deberán contar con un certificado expedido por la autoridad aeronáutica, además de instalar varios dispositivos en cada unidad esto como una forma de control del uso para civiles, uno que impida al dron volar más allá de 457 metros de distancia horizontal del piloto; otro que restrinja la altura máxima de vuelo a 122 metros en general (o a 100 metros máximo cuando se esté cerca de un aeródromo); y, finalmente, en el caso de drones grandes, uno que permita su identificación automática (Castellanos, 2017).

Existen algunas consideraciones previas para comprar y utilizar el dron con el fin de trabajar o diversión de acuerdo con Reina (2017), son las siguiente:

Restricciones de vuelo para el operador de drones no deberá acercar la aeronave a menos de 9.2 kilómetros de cualquier aeropuerto, o a 0.9 kilómetros de cualquier helipuerto, ni tampoco arrojar objetos que pueda causar daño a personas o propiedades, aun si el paquete tiene paracaídas y según Castellanos (2017) no se debe sobrevolar lugares abiertos donde se reúnan más de 12 personas (a menos que éstas participen directamente en la operación del dron, o estén debajo de una estructura que los proteja en caso de desplome), y no podrá pilotar más de un dron a la vez ni desde un vehículo en movimiento (excepto barcos o lanchas).

Sólo se podrá manejar un dron con luz de día, para operación nocturna se necesitará un permiso especial y que el aparato tenga, en otros requisitos, luces para determinar su posición.

La velocidad máxima en vuelo recto y nivelado será de 161 kilómetros por hora. Con relación a las nubes, los drones deberán permanecer 150 metros a distancia vertical debajo, y a 600 metros en horizontal alejado de las mismas.

El operador siempre deberá mantener al drone dentro de su línea visual, y pilotarlo sin ayuda de ningún otro dispositivo más que de anteojos.

Para todas las categorías de RPAS y en vuelos de tipo privado no comercial o con fines de lucro, el usuario deberá portar copias del registro del drone, de la póliza de seguros por daños a terceros y de las autorizaciones necesarias de acuerdo a la tarea que realice.

2.8 Principales componentes de un drone

Se expresa los elementos más importantes del drone, respecto una de las muchas partes que contiene dicho equipo, la mayoría de esta son los componentes básicos de esta herramienta como se muestra en la Figura 5.

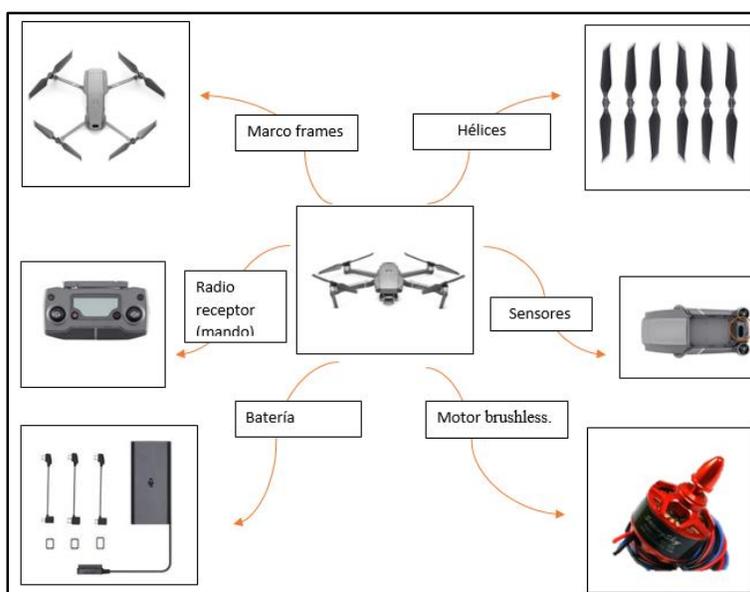


Figura 5: Partes del drone (Adaptado Drones, DJI., 2019)

2.8.1 Marco frames

Esqueleto del multirroto es la estructura que le da forma, en ella se instalan y aseguran los demás sensores y elementos. Generalmente esta estructura está fabricada con aleaciones metálicas para disminuir su peso, aunque dependiendo del modelo se puede encontrar fabricado en plástico o fibras de vidrio. Entre sus características principales debe estar la robustez y la flexibilidad, para intentar conseguir una mayor resistencia a los golpes o al viento, sin descuidar la ligereza del marco (García, 2017).

2.8.2 Batería

Es la encargada de aportar la energía necesaria al sistema para su funcionamiento de las baterías más usadas son las de litio (Lipo) puesto que ofrecen una excelente relación entre capacidad, peso, volumen y tensión (González, 2017).

Las baterías LiPo son ligeras en comparación con sus competidoras y pueden fabricarse en una gran variedad de tamaños y formas. Presentan una gran capacidad de almacenamiento de carga y nos ofrecen un alto nivel de densidad energética. Este tipo de batería presenta una alta tasa de descarga energética, lo cual es requerido por lo motores eléctricos de los vehículos aéreos no tripulados. Las baterías se componen de una serie de celdas que son proporcionales a la cantidad de carga que puede almacenar la batería y a su duración en la fase de descarga por tal razón es el uso para los motores de los drones (González, 2017).

2.8.3 Motores

Son los componentes fundamentales para mantener el multirroto en el aire ,que es la motor es la parte de la máquina capaz de hacer funcionar al sistema, transformando algún tipo de energía (eléctrica, combustibles...) en energía mecánica, capaz de realizar una fuerza que produce el movimiento ,los motores utilizados en las pequeñas aeronaves son motores brushless, los cuales son motores eléctricos de corriente continua con polos salientes en el estator y un rotor en el que se sitúa el devanado del inducido (González, 2017).

2.8.4 Hélices

Las hélices, una de las partes más importantes del dron, debido a que estas proporcionan la fuerza de empuje el cual hace posible la elevación del dron esto para las longitudes de las hélices, o distancia entre las puntas esto en los tamaños de hélice mayor genera un mayor empuje, por consiguiente, podremos soportar más carga (González, 2017).

Cabe mencionar que “el paso de la hélice, indica la distancia teórica que la hélice avanzará a lo largo del eje de rotación en una revolución completa, es capacidad de la hélice para mover el aire y generar empuje” (González, 2017).

2.8.5 Radio receptor (mando)

El mando es el responsable de recibir la señal de radio enviada por el control remoto, mediante el cual el usuario realiza el movimiento que desea y este lo transforma en una onda esférica que es recibida por el radio receptor del multirrotor transformándola en datos que se envían al controlador de vuelo, para que ejecute la instrucción , parte importante para el manejo de los drones es el control remoto, ya que este es quien va a controlar los movimientos que realizará el dron, estos radios controles tienen la característica de trabajar en una frecuencia libre de 2.4 GHz, frecuencia a la que trabajan los router o WIFI en casas ajenas .

Una instrucción de movimiento realiza cambios coordinados en la velocidad de los rotores. De esta manera si el usuario da la orden de ir hacia delante los motores traseros giraran a una velocidad mayor, haciendo que el aparato realice la acción (García, 2017).

2.8.6 Brújula magnética

Instrumento que permite conocer la dirección del vuelo que se está realizando, consta de mucha utilidad en el vuelo pre programado, su funcionamiento se basa en el magnetismo terrestre, por lo que la aguja señala al norte magnético.

Este tipo de brújula se puede ver afectada por el campo magnético creado por la corriente continua consumida por los demás instrumentos del dron. En los drones más sofisticados se utiliza una brújula giroscópica, puesto que está orientada al norte geográfico usando un juego de discos o anillos que giran muy rápido, movidos electrónicamente, por fuerzas de fricción para aprovechar la rotación de la tierra (García, 2017).

2.8.7 Barómetro/ Altímetro

El barómetro es el instrumento que mide la presión atmosférica, la presión atmosférica se calcula como el peso por unidad de superficie ejercida por la atmosfera.

Un altímetro es un instrumento de medición que indica la diferencia de altitud entre el punto en el que se encuentra localizado y un punto de referencia, generalmente se utiliza la altura sobre el nivel del mar.

Con la combinación de ambos instrumentos se obtiene el altímetro barométrico, cuyo funcionamiento está basado en la relación entre presión y altitud, se debe considerar que la presión atmosférica desciende con la altitud. De igual modo que el altímetro toma referencia en un punto situado al nivel del mar (García, 2017).

El altímetro barométrico mide los cambios de volumen que experimenta un gas encerrado a una presión conocida en una capsula cerrada. La presión obtenida es comparada con las diferentes medidas de altitud, pudiéndose obtener la altura a la que se encuentra la aeronave menciona en su investigación (García, 2017).

2.8.8 Sensores

Son dispositivos capaces de captar magnitudes físicas, conocidas como variables de instrumentación y transformarlas en variables eléctrica estas variables eléctricas envían toda la información que se desee al controlador del dron como, altitud, latitud, localización, presión, velocidad, entre otras (Constante & andre, 2019).

2.9 Fotogrametría

La Fotogrametría es el conjunto de métodos y procedimientos mediante los cuales se puede deducir de la fotografía de un objeto, la forma y dimensiones de este el levantamiento fotogramétrico es la aplicación de la Fotogrametría a la Topografía (Neira, 2005)

La Fotogrametría no es una ciencia nueva, ya que los principios matemáticos con que se rige son estudiados desde hace más de un siglo, sin embargo, sus aplicaciones topográficas son mucho más recientes, en cambio la Fotointerpretación es el examen de las imágenes fotográficas con el propósito de identificar objetos y juzgar su significado. Así al trazar las curvas de nivel sobre un terreno fotografiado se puede obtener la información topográfica del sector requerido (Neira, 2005)

Las aplicaciones de la fotogrametría, no son solo topográficas, ya que es una eficaz ayuda en Medicina Legal y Criminalística, así como en Investigaciones Policiacas, además en Escultura y Arquitectura se valen de ella para la reproducción y medida de cuerpos y objeto diversos. Gracias a ésta se pudo reconstruir muchos monumentos destruidos durante las guerras mundiales, entre ellos la célebre Catedral de Reims en Francia, también se utiliza la fotogrametría en meteorología, astronomía, balística, geología, hidráulica, etc. (Neira, 2005)

2.9.1 Clasificación de la fotogrametría

La clasificación consta de dos la fotogrametría terrestre y aérea y el método empleado se basa de tres métodos cuales son analógica, analítica y digital (Perea, Meroño, 2009).

Fotogrametría Terrestre: tiene su principal aplicación en la arquitectura y la arqueología y se basa en el principio de la toma de fotografías desde la tierra, como la hacemos habitualmente; donde la posición de la cámara y el objeto es perfectamente conocida.

Fotogrametría Aérea: es la que utiliza fotografías aéreas tomadas desde una cámara de toma de vistas, ubicada en una plataforma especial (avión o dron).

Cabe mencionar que depende del método empleado, por lo tanto, se puede distinguir tres tipos diferentes de fotogrametría:

Fotogrametría analógica: se basa en la utilización de aparatos de restitución ópticos o mecánicos, donde el operador realizaba la alineación de las imágenes para crear un modelo estereoscópico debidamente nivelado y escalado.

Fotogrametría analítica: con la utilización de los restituidores analógicos y la incorporación de las computadoras se da inicio a la fotogrametría analítica, se crea al restituidor analítico agilizando los tiempos y logrando niveles de detalle a diferentes escalas, se posibilita el vuelco de la información a programas de tipo CAD⁷.

Fotogrametría digital: finalmente el avance tecnológico hizo posible llegar a la fotogrametría digital, el uso de las computadoras y los programas o software aplicados dan origen a los modelos digitales del terreno 3D, etc.

Las imágenes digitales son ingresadas a la computadora y el operador puede identificar con buena precisión los puntos homólogos o bien la computadora realiza

⁷ En cuanto CAD (diseño asistido por computadora) se usa en casi todas las industrias, en proyectos tan variados como el diseño de paisajes (inglés), la construcción de puentes, el diseño de edificios de oficinas y la animación en películas. Con los programas de diseño CAD 2D o 3D, puedes realizar diferentes tareas, como crear un modelo 3D de un diseño, aplicar materiales y efectos de iluminación, y documentar el diseño con cotas y otras anotaciones (*CAD / Diseño asistido por computadora / Autodesk, 2019*).

estas operaciones por comparación de imágenes; finalmente el resultado es una imagen en formato ráster o vectorial. Lo interesante de esta salida (digital) es que puede ser utilizada.

Tabla 8			
Tipos de salida de fotogrametría			
Tipo de fotogrametría	Entrada	Procesamiento	Salida
Analógica	Película fotográfica	Analógico (óptico mecánico)	Analógica
Analítica	Película fotográfica	Analítico (computadora)	Analógica
Digital	Imagen digital	Analítico (computadora)	Digital

Fuente: Zelaya, *et al*; 2016.

2.9.2 Ventajas y Desventajas

La fotogrametría es una disciplina basada en la reconstrucción 3D de la realidad a partir de las imágenes bidimensionales, es por ello que sus ventajas y desventajas están estrechamente ligadas a las formas de registro (generalmente fotografías aéreas), y los métodos de equipo de restitución menciona Gutiérrez (2005) en su del libro de topografía.

Las ventajas que existen son: la representación gráfica del terreno e forma actualizada, el mínimo costo económico de datos en relación a otros recogidos en terreno, la obtención de información de zonas de difícil acceso, la entrega de un registro del cambio de la zona, infinidad de aplicaciones en los aspectos de evaluaciones de cambios temporales, la obtención de detalles, la facilidad de estudiar la evolución de un fenómeno natural en cualquier estado de su fase de desarrollo y la reducción del trabajo de campo (Gutiérrez, 2005).

Cabe mencionar que también tiene sus desventajas como son; algunos elementos difíciles de clasificar, la complicación al efectuar mediciones con exactitud, el relieve no es evidente a simple vista, sino que requiere de equipos especializados, se requiere de conocimiento y experiencia para lograr un mejor aprovechamiento de ellas, el alto costo de la fotografía cuando se requiere la actualización de la

misma, por su alto costo económico, para la obtención de imágenes o fotografías se requiere de un buen clima (sin nubosidad), la poca visión de la superficie del terreno cuando existe densa cobertura vegetal (Gutiérrez, 2005).

2.10 Fotogrametría digital

La fotogrametría analítica a la digital dispone de un cambio radical en cuanto a la instrumentación, al proceso fotogramétrico y a los resultados; por lo que se ha dicho que se trata de una revolución tecnológica, es en esta revolución tecnológica que se fundamenta este estudio, brindando la oportunidad de poder extraer más información de “la misma materia prima”, es decir, de las fotografías aéreas (Quirós, 2014)

El objetivo fundamental de un sistema fotogramétrico, cualquiera que sea la metodología empleada para su construcción es la obtención de información espacial de objetos a partir de imágenes de los mismos, en el caso concreto de los sistemas fotogramétricos digitales, a partir de imágenes en formato digital (Ortega, 2017).

En la actualidad, para la adquisición de imágenes digitales fotogramétricas son empleados dos procedimientos básicos como la digitalización de imágenes analógicas adquiridas con cámaras fotográficas convencionales y tanto como la utilización de sensores digitales, o bien sensores analógicos dotados de un conversor analógico/digital con sistema fotogramétrico digital debe cumplir los siguientes requerimientos en cuanto a hardware (Quirós, 2014).

Podemos enumerar una serie de ventajas y desventajas de la fotogrametría digital lo clasifica (Quirós, 2014):

Tabla 9
Ventajas y Desventajas de la fotogrametría digital

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Imágenes de gran estabilidad dimensional • Facilidad de visualización y de encontrar los puntos homólogos • El tratamiento de la imagen requiere de software • Es posible automatizar los procesos • Salida digital de la información 	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere un elevado volumen de almacenamiento (actualmente los procesos son más rápidos) • Es una técnica reciente y aún en desarrollo.

Fuente: Quirós, 2014.

2.11 Precisión

Los errores no se puede medir exactamente ninguna magnitud; por perfectos que sean los procedimientos y aparatos que se empleen; cada medida que se haga estará siempre afectada por un error, al considerar una magnitud cualquiera debemos distinguir en ella tres valores: valor verdadero, valor observado y valor más probable esto lo clasifica (Marquez, 1994).

El valor verdadero de una magnitud es el que está exento de todo error; y por lo mismo, será siempre desconocido para nosotros dicho también el valor observado es el que resulta de la observación o experimentación, después de hechas todas las correcciones instrumentales y del medio en que se trabaja esto sin embargo el valor más probable de una cantidad es el que más se acerca al valor verdadero de acuerdo con las observaciones hechas o medidas tomadas (Marquez, 1994).

Cuando se refiere de medidas, es importante distinguir entre exactitud y precisión (Márquez, 1994).

La exactitud es la aproximación al valor verdadero o bien el grado de conformidad con un patrón o dicho el valor verdadero nunca se podrá determinar, se sustituye por un valor casi verdadero o bien valor de referencia (Martínez, 2009)

Precisión es el grado de refinamiento con que se lee una medida o el número de cifras con el que se hace un cálculo o también se define como la concordancia de multitud de resultados echo en un objeto, es cual es afectado por condiciones del medio ambiente durante el proceso de la medida (Martínez, 2009)



Figura 6: Ejemplos visuales de precisión y exactitud (Martínez, 2009)

Por lo tanto, la precisión conlleva a los errores de la toma de datos, es un sin número de causas a la recolección de información de este, más sin embargo existen tipos de errores que se clasifican en naturales cuyas variaciones es la temperatura, viento y sol por mencionar algunas la otra que son las personales de errores involuntarios la última que más se debe tomar en cuenta la instrumentación se debe revisar el estado siempre antes de realizar cualquier trabajo (Navarro, 2008).

Capítulo III. Metodología

3.1 Levantamiento convencional (directo)

Método de levantamiento directo consiste en una configuración de terreno con un método buscado en representación del lugar a detalle, esto se llevó a cabo con equipos topográficos.

3.1.1 Descripción de la zona de estudio

El área de estudio es el canal pluvial, ubicado aproximadamente entre el edificio del laboratorio de investigación y desarrollo de productos funcionales y facultad de ciencias biológica donde se encuentra ubicada en las coordenadas geográficas, con la latitud $16^{\circ}46'31.00''\text{n}$ y longitud $93^{\circ}7'10.93''\text{o}$, ubicado en las instalaciones de la universidad de ciencias y artes de Chiapas (UNICACH) del municipio de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas recuperado de Google Earth 13 de noviembre de 2019.

Se eligió un área aproximada de 10000 metros cuadrados, ubicada mencionado anteriormente donde esta se configura un canal de aguas pluviales esto teniendo en la investigación a levantar toda el área de estudio con el equipo topográfico Sokkia RTK GRX2 y con el Drone Mavic 2 Pro.



Figura 7: Ubicación de la zona de estudio (Google Earth, 13 de noviembre de 2019)

3.1.2 Equipo y material utilizado

Los equipos y/o herramientas usados en el proyecto de investigación fueron: GPS RTK GRX2 Sokkia (Antena base y antena móvil GPS con radios internos, Controladora inalámbrica para GPS, Tripeé con plato nivelante, Bastón) y una laptop Acer i3. Y los materiales utilizados fueron: estacas, libreta de campo y pintura roja.

3.1.3 Precisión del equipo utilizado

Las precisiones obtenidas de las coordenadas del levantamiento dependieron de varios factores, tales como condiciones climáticas (nublado o despejado influye en la visibilidad de los satélites), precisión de los equipos utilizados, número de satélites disponibles al momento de realizar el levantamiento, errores accidentales cometidos, etc. De esta forma, la precisión de los puntos del levantamiento puede llegar a ser del orden de los 2 cm de manera no acumulativa (Geoeco, 2019).

Las coordenadas del levantamiento se obtienen con una precisión del equipo topográfico se menciona en la tabla 10 es importante hacer notar que este error se mantiene constante en todo el levantamiento, o sea que no es acumulable al alejarse del banco de nivel, y como los errores no son acumulables y no se tienen restricciones visuales o meteorológicas, se trabaja por lo menos al doble de velocidad y exactitud de los topógrafos tradicionales (Geoeco, 2019).

Posibilidad de grabar información simultáneamente de coordenadas corregidas para trabajos en tiempo real (RTK) como de datos crudos para ser procesados en gabinete (post-proceso) y con Mediciones de alta precisión y esto con la ventaja de utilizar es con una batería con durabilidad de trabajo en campo hasta 7.5 horas continuas en modo estático con bluetooth activo cada una (Geoeco, 2019).

Tabla 10 Precisión y especificaciones del equipo Sokkia RTK		
Modo	horizontal	vertical
Estático con PostProceso alcance de más de 500 km	3mm + 0.5 ppm	3mm + 0.5 ppm
Estático Rápido	3mm + 0.5 ppm	3mm + 0.5 ppm
RTK	10mm + 1 ppm	15mm + 1 ppm
Receptor		
Canales	L1/L2 Doble frecuencia con 226 Canales	

Tabla 10 Precisión y especificaciones del equipo Sokkia RTK		
Modo	horizontal	vertical
Señal	1.- GPS L1 CA, L1/L2 CODIGO P Y L2C, 2.- GLONASS L1/L2 CA, L1/L2 CODIGO P 3.- SBAS : WAAS, EGNOS, MSAS 4.- PREPARADO PARA RECIBIR SEÑAL DE E1 DE GALILEO (CUANDO ESTE DISPONIBLE)	
Interfaz de comunicación	Inalámbrica, USB o Serial	

Fuente: Geoco, 2019.

3.1.4 Sistema de proyección utilizado

Las coordenadas de los puntos, se obtienen en el sistema de referencia WGS84, la metodología RTK permite asociar una proyección y un sistema de referencia distinto, podemos obtener las coordenadas de los puntos directamente en la proyección UTM, también podrían obtenerse en cualquier otro sistema de referencia local con respecto al cual se haya realizado la georreferenciación.

3.1.5 Técnica de recolección de datos con GPS RTK GRX2 Sokkia

Método directo se ha realizado la toma de datos con un GPS Sokkia RTK GRX2, de todos los puntos resaltantes tales como desniveles y cambios de pendiente del canal, así como como cada detalle que se encuentre en la zona de estudio. Se ha realizado medidas directas y con el apoyo de un rover, en las partes más resaltantes del terreno en estudio, tanto en el relacionado más con el canal para la comparación de levantamientos.

3.1.6 Descripción de trabajo de campo

El levantamiento se lleva a cabo por dos operarios y dos receptores, uno de referencia (estación base) como se muestra en la figura 8 y otro móvil. Uno de los operadores se encarga de la toma de puntos con el receptor móvil, así como anotando el número de punto y su correspondiente descripción, quedando así definido cualquier tipo de elemento a representar mientras que el otro operario está a cargo de la vigilancia del receptor fijo.

Dependiendo de lo que nos interese verificar en el levantamiento, se toman las lecturas de los elementos necesarios, tales como registros de luz, aceras, carreteras, árboles, y los accidentes del terreno como por ejemplo los taludes, en caso de este levantamiento se efectúa mediante secciones transversales, a una equidistancia promedio de 10 m y en puntos obligados donde se hagan cambios de pendiente, además de ir tomando en cada una de las estaciones los diferentes elementos que la componen y en este caso se ha tomado en cuenta la toma de datos de campo en las zonas donde podamos obtener información, esto con el fin de poder obtener las curvas de nivel y al final comparar la precisión de ambos métodos.



Figura 8: Estación base GPS RTK (Propia, 2019)

3.1.7 Procesamiento de datos

Al final del levantamiento, los puntos observados en campo se importan a la computadora, observando que los puntos levantados hayan cubierto toda la zona de interés y evitando que queden zonas sin el número de puntos adecuado, para tener una buena configuración de terreno, se procesaron los datos, y como resultado las condiciones la obtención de curvas de nivel.

3.2 Levantamiento indirecto (fotogramétrico)

Método de levantamiento indirecto consiste en un levantamiento fotogramétrico con un drone con la metodología de procesamiento de imágenes con programa Agisoft PhotoScan, para la obtención de los puntos requeridos para el objetivo de la investigación.

Se describe la planificación de un vuelo fotogramétrico sobre las instalaciones de la UNICACH descritos anteriormente, esta parte se realiza conjunto de cálculos previos para la ejecución de un levantamiento con drone, los requerimientos específicos para la realización de procesos geo-informáticos aplicados a los datos generados mediante drones, dirigidos para levantamiento de topografía.

Una de las partes más importantes de un proyecto que requiere una gran cantidad de datos es la fuente de esto, debido al constante avance tecnológico ya que es relativamente complicada para la obtención de datos sin los equipos a la mano.

De este modo se obtuvo información y apoyo a dos instancias, donde se emplearon ayuda por la empresa Didesint SA de CV, junto con la Universidad de Ciencias Artes de Chiapas (UNICACH) de la facultad de ingeniería, en el área de topografía e hidrología, así como todas las actividades topográficas y fotogramétricas, aceptaron a la ayuda para los procesos de levantamientos que emite la investigación.

Para todo el proceso del vuelo fotogramétrico hay que tener en cuenta todos los factores que inciden en el vuelo para evitar atrasos, errores y cambio de planes en los momentos críticos del vuelo. Un proyecto fotogramétrico se puede dividir en tres fases son la planificación de vuelo, apoyo topográfico y la ejecución del vuelo de la cual es tomada la metodología en este proyecto (Zelaya, *et al*; 2016).

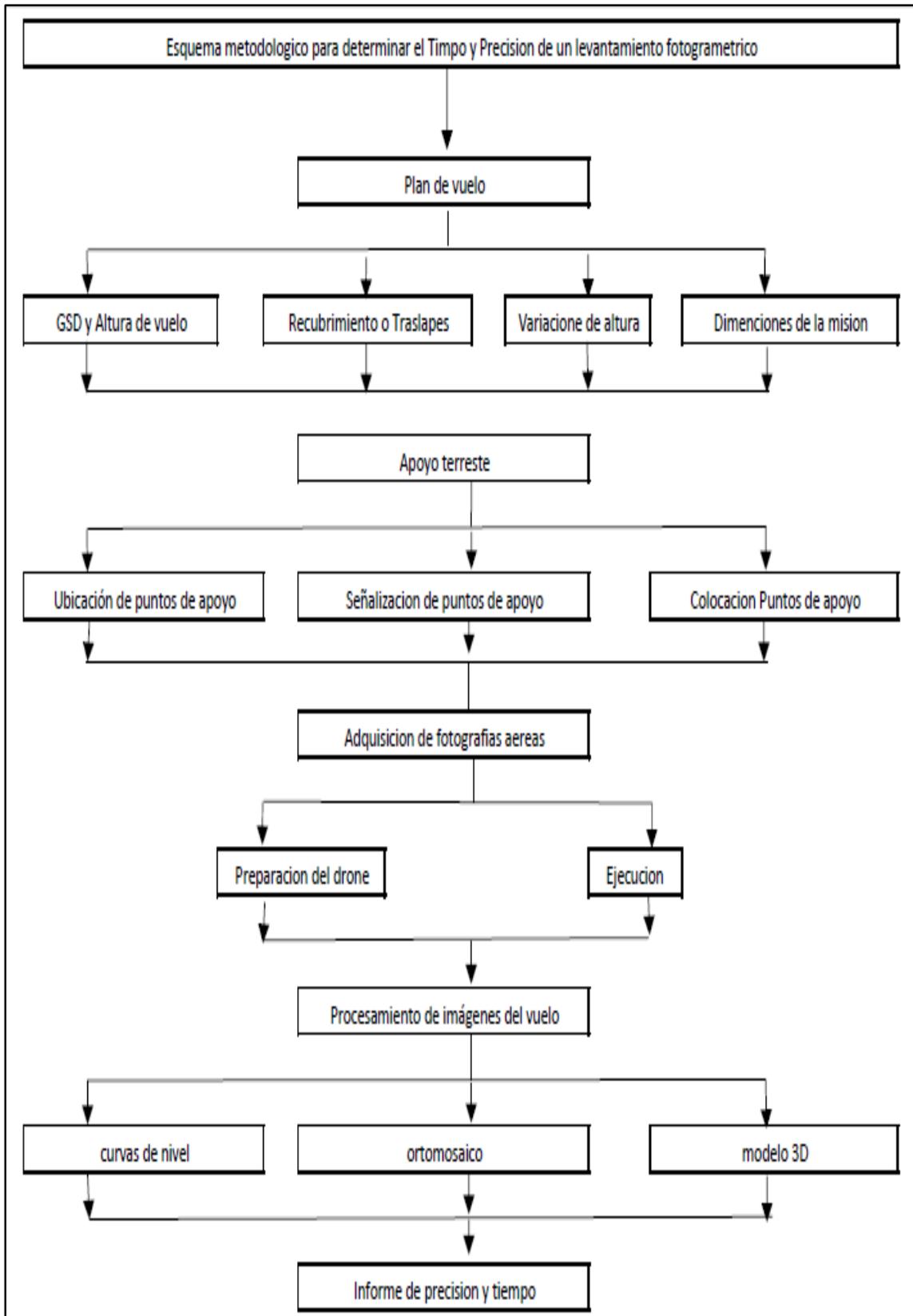


Figura 9: Metodología para determinar el Tiempo y Precisión de un levantamiento fotogramétrico (Adaptado de Zelaya, *et al*; 2016)

3.2.1 Plan de vuelo

Para la planificación de un vuelo existe una serie de decisiones previas tales como la altura del vuelo, GSD⁸, sistema de coordenadas, tiempo de vuelo, altura de vuelo etc., que deben tenerse en el planteamiento, ya que afecta las condiciones del vuelo, así como otras condiciones que se refieren a la calidad de la fotografía tanto en su aspecto fotogramétrico.

Cabe resaltar que el GSD no es equivalente a la resolución de la imagen, debido a que, depende de la resolución de la cámara y la altura de vuelo. Mientras mayor sea el valor del GSD menor será la resolución espacial de la imagen y se percibirán menos detalles (Zelaya, *et al*; 2016), en la presente investigación se toma una altura considerable para un tiempo corto y con buena precisión.

Para la realización del vuelo se basa en una previa planificación considerando ciertos factores como: traslapes, velocidad, líneas y tiempo de vuelo (Zelaya, *et al*; 2016).

Dichos factores permiten conocer los requerimientos para la obtención de los objetivos específicos como el tiempo de vuelo y la altura de vuelo, los traslapes considerando el GSD, mismas que dependerán mucho de la calidad de las imágenes, por ende, la calidad de los resultados de la investigación.

Cabe mencionar que, para cumplir con el tiempo y precisión requerido en la investigación, se pretende llegar a un punto de interacción con la altura de vuelo; traslape y el tiempo de vuelo.

Para la obtención de levantamiento fotogramétrico Zelaya, *et al*; (2016) proponen tomar en cuenta los siguientes pasos de altura de vuelo: la interacción del GSD, la velocidad operativa del dron, el traslape longitudinal, la cobertura de las fotografías sobre el terreno, y las dimensiones del área a cubrir en el vuelo esto conlleva con el tiempo del vuelo. Esto último en el caso del vuelo de drones es una

⁸ (Ground Sampling Distance) es la distancia entre dos centros de píxeles consecutivos medidos en el suelo. Cuanto mayor sea el valor de GSD de la imagen, menor será la resolución espacial de la imagen y los detalles menos visibles (Arias, *et al*; 2014).

limitante, debido a que se tienen que obtener las fotografías en el máximo tiempo de pila o batería que tienen dichos equipos.

Por lo tanto, para iniciar la definición del plan de vuelo, se toman en cuenta el tiempo de vuelo requerido, el traslape, y las dimensiones de la malla.

3.2.3 Consideraciones del GSD y altura de vuelo

En la fotogrametría digital, por lo general se recomienda (para el procesamiento) que las imágenes sean capturadas a la misma altura de vuelo, ya que tendrían el mismo GSD en caso de usar la misma cámara. Esto quiere decir, que todas las imágenes tendrán el mismo nivel de detalles y facilita la coincidencia de puntos significativos entre ellas, importante en la presente investigación.

3.2.4 Recubrimiento o traslapos

El objeto de los recubrimientos fotográficos, es la aplicación de principio de la visión estereoscópica⁹ a los fotogramas aéreos. La parte común entre dos fotografías es enlazar estos modelos, longitudinal como transversalmente. Para vuelos fotogramétricos tradicionales y en condiciones ideales como lo recomiendan lo siguiente (Zelaya, *et al*; 2016):

Tabla: 11		
Recomendación para traslapos de vuelos fotogramétricos		
Tipo de terreno	longitudinal	Transversal
Llano	60 %	25 %
Ondulado	65-70 %	25-30 %
Montañoso	70-80 %	30-35 %

Fuente: Zelaya, *et al*; 2016.

⁹ Consiste en obtener una vista tridimensional de objetos percibidos mediante visión binocular es decir cerebro humano interpreta la realidad a partir de las imágenes que le proporcionan los dos ojos, las cuales presentan diferencias entre sí, ocasionadas por su separación; la disparidad o paralaje entre dichas imágenes es utilizada por el cerebro para percibir la profundidad (Cárdenas, *et al*; 2015).

3.2.5 Variaciones de altura

Cuando se planifica un vuelo sobre un terreno que presenta variaciones de altura, el plan de vuelo se puede realizar en tres maneras según Zelaya *et al*; (2016).

1.- Ejecutar un solo vuelo a una altura constante independientemente de los cambios de altitud del terreno: Como consecuencia que la diferencia de altura entre el drone y el terreno no se mantiene se tendrá una variación de GSD en el proyecto.

2.- Ejecutar varios vuelos a diferentes alturas: estos deberán ejecutarse con las líneas de vuelo perpendiculares a la pendiente del terreno y será importante mantener un buen traslape entre vuelos.

3.- Realizar un vuelo único siguiendo la variación de la elevación del terreno: este método brinda mejores resultados ya que el GSD se mantendrá constante para el proyecto porque la diferencia de altura entre el drone y el terreno es casi constante.

En esta investigación como en el lugar es semi-plano se consideró para la realización del vuelo utilizando la recomendación tres para conseguir un buen método de levantamiento.

3.2.6 Dimensiones de la misión del vuelo

Las misiones se ejecutaron de forma autónoma (pre programadas) haciendo uso de la aplicación DroneDeploy utilizando un drone multirrotor y bajo las condiciones descritas anteriormente, ubicando y dimensionando cada misión. El plan de vuelo quedó definido de la siguiente manera:

El tiempo y altura de vuelo: Por la orografía de la zona, la altura de vuelo se mantendrá constante, además debido al tipo de terreno se debe elegir una que permita incluir mucho contenido identificable entre fotografías. Por lo tanto, la altura de vuelo del proyecto se definirá en un valor máximo de 140 y 100 metros, la Norma oficial mexicana NOM-107-SCT3-2019, que establece los requerimientos para operar un sistema de aeronaves no tripuladas en el espacio mexicano de altura máxima es de 120 metros se tomó una diferencia de vuelo máximo como 20 metros arriba y

abajo, lo que permitirá tener diferencia de dentro del máximo permisible para volar, y con ello tener un nivel de detalle en las diferentes alturas. Se calcula entonces el tiempo de vuelo 2:48 y 1:48 minutos, para lo que se hacen interacciones hasta obtener un resultado aceptable

Tipo de plan de adquisición: fue de tipo rejilla y se ejecuta solo un vuelo para cubrir las zonas del proyecto y sus alrededores.

Traslape: fue ser de 80% frontal y 75% transversal, referido a la dimensión vertical de la fotografía (debido a las limitaciones de la aplicación). Para terrenos similares se recomienda valores de traslape altos, mayores a 85% en el frontal y 70% en el transversal.

Velocidad de vuelo: Esta depende de varios factores y ya que el vuelo no se realizará de forma manual, esta variable se configurará en la aplicación para optimizar el consumo de batería.

Tiempo de Vuelo: Este depende de varios factores. Se realizarán un vuelo con un porcentaje de batería del 100% y el tiempo máximo de vuelo del dron con carga completa es de 27 minutos.

El tiempo de vuelo, dónde muestran la ecuación para calcular del nivel útil de batería ($N_{\text{Útil}} = \text{Nivel de batería} - 20\%$), en condiciones óptimas (carga completa) es de:

$$\text{Vuelo con altura de 100 m: } \left(\frac{T_{\text{max}}}{N_{\text{mas}}} \right) \times N_{\text{util}} = \left(\frac{27 \text{min}}{100\%} \right) \times 80\% = 21.6 \text{ min}$$

$$\text{Vuelo con altura de 140 m: } \left(\frac{T_{\text{max}}}{N_{\text{mas}}} \right) \times N_{\text{util}} = \left(\frac{27 \text{min}}{100\%} \right) \times 80\% = 21.6 \text{ min}$$

El porcentaje batería, del nivel útil de batería (comparado con las condiciones óptimas), gastado en un vuelo de 2.48 minutos fue de 11.48 de batería.

$$\text{Vuelo con altura de 100 m: } pB1 \equiv \frac{tv}{\left(\frac{T_{\text{max}}}{N_{\text{mas}}} \right) \times N_{\text{util}}} \times 100\% = \frac{2.48}{\left(\frac{27 \text{ min}}{100\%} \right) \times 80\%} \times 100\% = 11.48\%$$

$$\text{Vuelo con altura de 140 m: } pB2 \equiv \frac{tv}{\left(\frac{T_{\text{max}}}{N_{\text{mas}}} \right) \times N_{\text{util}}} \times 100\% = \frac{1.58}{\left(\frac{27 \text{ min}}{100\%} \right) \times 80\%} \times 100\% = 7.31\%$$

Imágenes obtenidas con la altura de 100 m.: Teniendo en cuanta las duraciones del vuelo esto captó 32 imágenes en un tiempo de 2.48 minutos que gastó la batería un 11.48%.

Imágenes obtenidas con la altura de 140 m.: Teniendo en cuanta las duraciones del vuelo esto captó 22 imágenes en un tiempo de 1.58 minutos que gastó la batería un 7.31%.

El software para la obtención fotogramétrica utilizada en este vuelo (DroneDeploy) y el procesamiento de las imágenes (Agisoft PhotoScan) para la obtención de imágenes ofrece una aplicación para dispositivos móviles y tabletas con sistema Android descargable de forma gratuita en Play-Store de google y de la app store para sistema iOS, que permite seleccionar las variables ya planteadas en las consideraciones anteriores, dimensionar la malla de cada vuelo y calcular el tiempo requerido para realizar la misión (Drone & UAV mapping platform, 2019)

3.2.7 DroneDeploy

Esta aplicación otorga soporte principalmente a los drones profesionales para fotogrametría orientada a drones de DJI, en él es posible hacer los planes de vuelo en oficina (con internet) y el vuelo en campo (sin internet) de manera totalmente automatizada para lo cual permite incluir los parámetros descritos anteriormente y generar el plan de vuelo que pueda ejecutarse sin riesgo con los drones, se considera básicamente el vuelo, el despegue y al aterrizaje son totalmente automatizadas, el resultado de vuelo automatizado fueron imágenes georreferenciadas (Drone & UAV mapping platform, 2019)

Como primer paso para planificar en el software, se requiere crear una cuenta de usuario¹⁰ una vez llenado todos los parámetros del registro muestra como la figura 10 de la pantalla principal de software.

¹⁰ En la página: <https://www.dronedeploy.com/>



Figura 10: Pantalla principal, DroneDeploy (Adaptado de DroneDeploy, 2019)

Una vez accedido, se muestra el menú principal donde se puede elegir para un nuevo plan de vuelo que permite tomar fotografías al cubrir ciertos intervalos de desplazamiento vertical y horizontal y un vuelo en rejilla automatizado al cual se le configura la altura de vuelo, porcentaje de traslape de las fotografías (la aplicación define la distancia entre líneas de vuelo como 2 veces la distancia longitudinal entre capturas fotográficas), las dimensiones de la rejilla y a grosso modo la velocidad de vuelo.

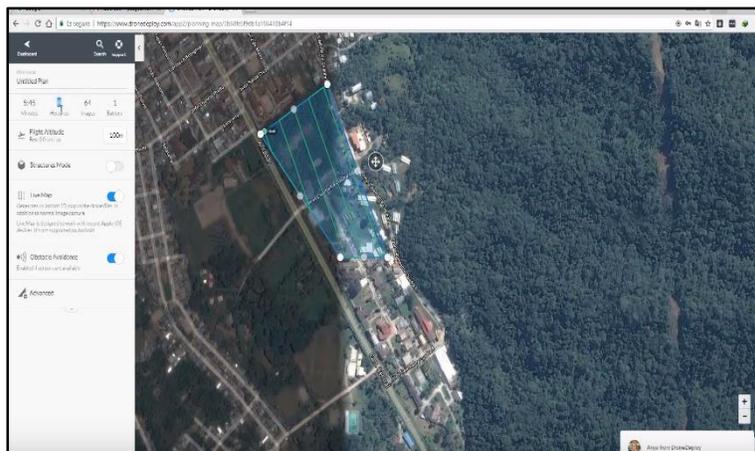


Figura 11: Pantalla de configuración, altura de vuelo, y traslapes y dimensión de la misión (Adaptado de DroneDeploy, 2019)

3.2.8 Configuración de la rejilla

En este apartado se explica la configuración de la rejilla. En el menú principal, la opción X figura 11 se desplegará una ventana para configurar la misión de vuelo. En dicha ventana se podrá elegir entre la vista del mapa y la vista de la cámara del dron. Para configurar la rejilla.



Figura 12: Ventana, un nuevo plan de vuelo (Adaptado de DroneDeploy, 2019)

1) Altura de Vuelo: Se podrá configurar alturas de 10, 15, 20, 25 y 30m y posteriormente en incrementos de 10m (40, 50, 60, etc.) hasta 500m.

2) Traslape: Aquí se define el traslape longitudinal de las fotografías desde 0% a 95%. La distancia transversal se define como el doble de la distancia longitudinal entre capturas consecutivas.

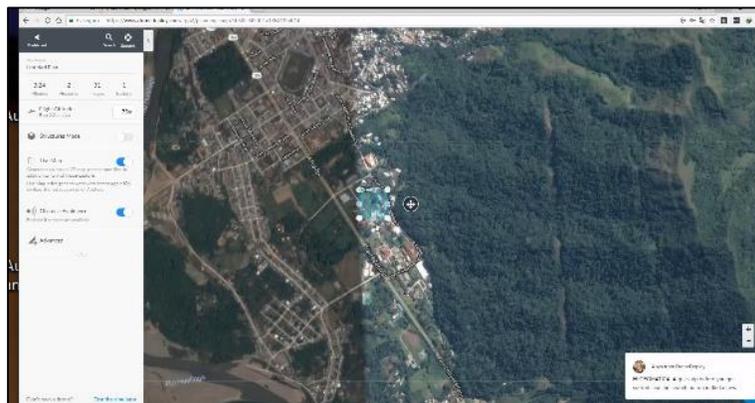


Figura 13: Configuración de la rejilla (Adaptado de DroneDeploy, 2019)

Definidas éstas opciones se procedió a establecer la configuración geométrica de la rejilla, para lo cual se pueden modificar:

- Su tamaño pulsando y arrastrando los puntos al borde de la rejilla.
- Su orientación presionando alguna de las flechas y arrastrando hasta tener la orientación deseada.
- Su posición presionando el círculo al centro de la rejilla y arrastrándola a la posición deseada.

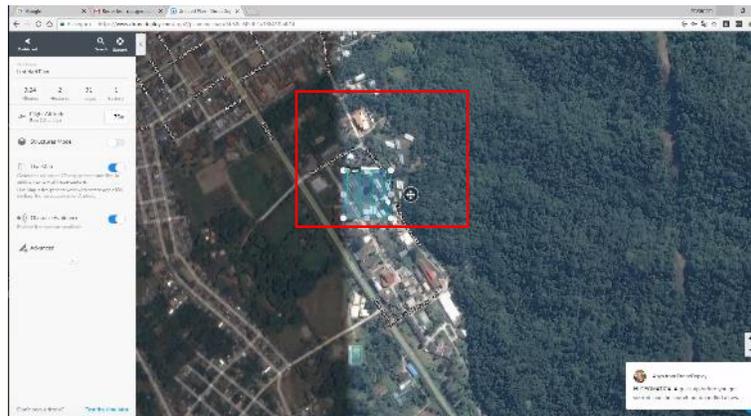


Figura 14: Forma de la rejilla (Adaptado de DroneDeploy, 2019)

Lo anterior permitirá a la aplicación calcular un estimado del tiempo requerido para completar el recorrido de la rejilla. Se deberá cuidar en todo caso que el tiempo no exceda el límite permitido, es decir, que durante el tiempo que se ejecuta la misión el nivel la batería sea mayor al 20%. De la siguiente expresión propuesta por los autores Zelaya, *et al*; (2016) se podrá calcular a groso modo el porcentaje de batería gastado en cada misión bajo condiciones específicas (altura, velocidad, longitud del recorrido, etc.) o el tiempo de vuelo máximo para un porcentaje y condiciones de vuelo dadas.

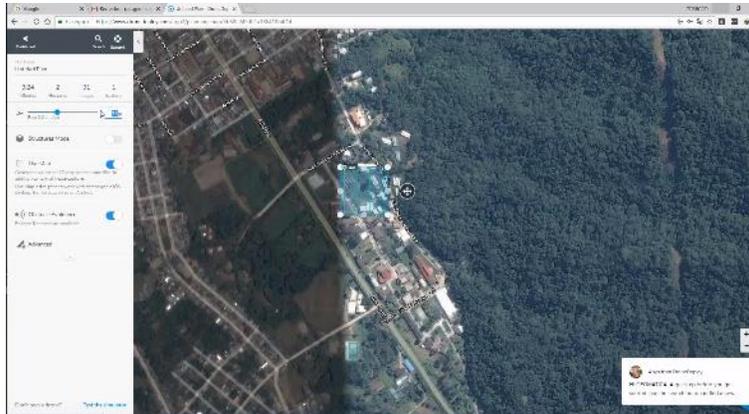


Figura 15: Tiempo y la altura de vuelo (Adaptado de DroneDeploy, 2019)

3.2.9 Configuración del proyecto

Se pueden crear múltiples misiones con el fin de cubrir el área total del proyecto y guardarse en un solo proyecto de vuelo, la cual se podrá acceder desde el menú principal. Para elaborar el proyecto dentro de la aplicación se creó la primera misión y luego guardar los cambios de la misma. Posteriormente se abrió el proyecto y se agregó nuevas misiones seleccionando la opción como se seleccionó la primera vez, guardando los cambios una vez estén configuradas.

Una vez finalizada la configuración de la misión que constituyó el proyecto, se puede seleccionar los misiones a realizar desde la ventana *ajustes avanzados* tocando la rejilla en el mapa o seleccionándolo desde una lista y revisar la información de cada misión al elegir la misión de interés (Figura 16). Esta información incluirá las dimensiones de la malla, traslape, altura de vuelo, modelo de la aeronave, coordenadas del centro de la rejilla, etc. Una vez ejecutada se completarán otros campos como el tiempo de vuelo real, fotografías tomadas, hora de ejecución, etc.

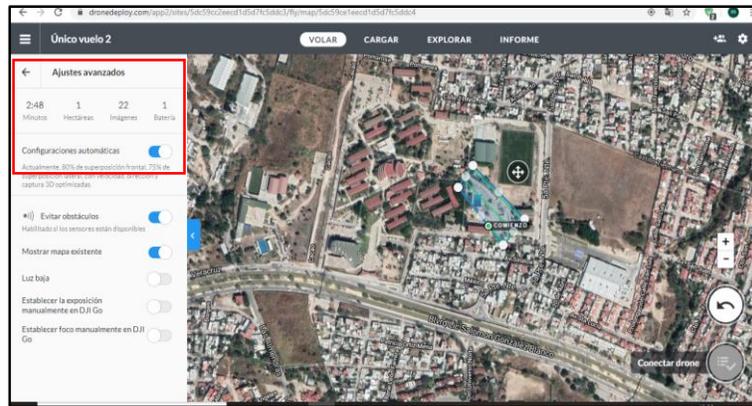


Figura 16: Proyecto de vuelo con las misiones proyectadas e información por misión (Adaptado de DroneDeploy, 2019)

Al tener las opciones avanzadas encendidas, se podrá modificar la posición del centro de la rejilla haciendo una pulsación larga hasta que se abra la opción de modificar la latitud y longitud del centro.

3.2.10 Consideraciones adicionales del plan de vuelo

Los tipo de terreno se deberá tener en consideración las características de la zona a levantar, por lo que para realizar el plan de adquisición de imágenes se debe proceder teniéndolas en cuenta las siguientes consideraciones (Zelaya, *et al*; 2016): en bosques y sitios con vegetación densa se debe volar alto para facilitar la reconstrucción, pero la resolución espacial se reducirá, y en edificios, el volar alto reduce los problemas con las esquinas de los edificios, pero la resolución espacial se reducirá.

3.3 Apoyo terrestre

El apoyo terrestre, incluye la planificación del control terrestre y la ejecución de todos los trabajos topográficos que aseguren la precisión requerida para la investigación.

Se recolectaron puntos de control para complementar la topografía, linderos, líneas constructivas, etc. Si en dado casi no sean perceptibles desde las fotografías aéreas. Dichos puntos se anexarán a la superficie en el procesamiento.

La toma de datos topográficos consistió en la medición de las zonas necesarias para realizar el levantamiento del perímetro, que sirvió como puntos de control y para la obtención de las coordenadas de los puntos de apoyo sobre el terreno, necesarios para realizar la Aero triangulación. Dichos puntos deber ser identificables en las fotografías y ubicarse en zonas descubiertas.

Esta fase del proyecto de vuelo fotogramétrico se basó en la obtención de puntos topográficos mediante el uso de: 1) instrumentos topográficos. Adquiriendo la información directamente del terreno (utilizando procedimientos clásicos de la topografía mediante estación total o GPS) en caso de presente investigación se utilizó GPS Sokkia GRX2, y dos bases de datos. Extrayendo la información de una base de datos existente como datos topográficos actualizados de la misma zona o servicios de mapas web o como Google Maps.

3.3.1 Puntos de apoyo

Los puntos de apoyo o punto de control de tierra por sus siglas en ingles GCP (Ground Control Point) son utilizados para ajustar la precisión y orientación del modelo de la superficie y que son identificables en las fotografías; y los puntos de control, son aquellos con coordenadas que se utilizaron para la comprobación de la precisión del levantamiento corregir los errores obtenidos (Zelaya, *et al*; 2016), al usarse GCP se debe considerar el número y distribución ellos, y la técnica de adquisición del mismo.

Por lo tanto, en términos generales se recomienda agregar GCPs para hacer un proyecto más estable y preciso, el número de mismo dependerá de la precisión relativa de las coordenadas de las fotografías.

Para llevar a cabo el ajuste fue necesario colocar cuatro GCP y en proyectos más extensos recomienda utilizar entre 5 a 10 GCP. Se pueden colocar más puntos de apoyo, pero esto no ayudará de manera significativa a mejorar el resultado, de igual manera no afectará en la presente investigación, debido a la magnitud del área de estudio.

Cabe resaltar que, para las dimensiones del área a estudiar como en el caso de la presente investigación el número mínimo de puntos de apoyo necesarios para la realización del proceso de restitución es de 3, teniendo en cuenta la posibilidad de que exista un error en alguno de estos puntos, se consideran necesarias para proceder a una restitución fiable las coordenadas planimétricas y altimétricas de cuatro puntos de apoyo fotogramétrico y la cota altimétrica de un punto más, para un buen ajuste del modelo digital.

Estos reducen el error debido a la incerteza del GPS de metros a centímetros en los proyectos sin imágenes georreferenciadas, los GCPs son necesarios para datos georreferenciados. Si ese es el caso, los GCPs corregirán la escala, orientación y la posición del modelo. Adicionalmente aumentan la precisión relativa de los resultados, así como de la reconstrucción del modelo 3D.

La longitud del proyecto también afecta el número de GCPs requeridos por lo que entre más largo el corredor se necesitaran más. Para vuelos realizados en una sola línea de vuelo los puntos de apoyo terrestre se definen a lo largo de la línea de vuelo en zigzag.

3.3.2 Ubicación de los puntos de apoyo

La ubicación de los puntos de apoyo se realiza a partir de la vista satelital del terreno, teniendo en cuenta que deben quedar correctamente distribuidos en área del proyecto. Debido a lo desactualizado de las vistas satelitales será necesario proyectar la ubicación de las marcas y evaluar su factibilidad en un recorrido previo del terreno para esto una buena consideración propia para su distribución.

Para la elección de puntos de apoyo se toma en cuenta los siguientes criterios (Zelaya, *et al*; 2016):

- Los puntos se elegirán dentro de la zona marcada en el plan de vuelo de modo que estén distribuidos de forma homogénea en el área de interés con la finalidad de que cumplan los requisitos para la realización de la orientación absoluta del modelo.
- Será conveniente ubicar los puntos altimétricos sobre partes del terreno

de muy débil pendiente (lo más horizontal posible), evitando en lo posible los detalles que se presten a una mala puntería estereoscópica.

- No incluir las marcas en los vértices del área del proyecto ya que serán visibles en pocas imágenes
- En múltiples misiones deberán incluirse GCPs en la zona común de los vuelos para poder unificar el proyecto.



Figura 17: Distribución correcta de GCP (Zelaya, *et al*; 2016)

3.3.3 Señalización de los puntos de apoyo

La forma de estas señales adoptada generalmente es la cuadrada, en las que el material utilizado es de aluminio, contrachapado o cartón. Se divide en colores la marca, debe ser brillante y el otro oscuro (Figura 18), para poder ubicar correctamente el centro en las fotografías (punto al cual se le han asignado coordenadas).

Otra forma adoptada en algunos organismos es la circular, pudiéndose mejorar sustituyendo los círculos por cruces. Las dimensiones de estas señales variarán con el GSD, generalmente las marcas se le colocan dos colores para poder distinguir fácilmente el centro, la marca tiene que ser de 5 a 10 veces mayor que el tamaño del GSD.

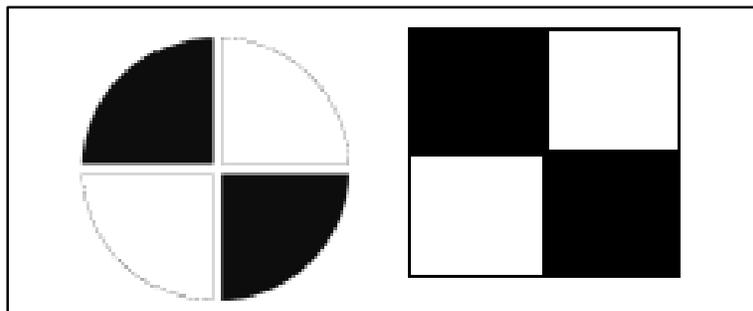


Figura 18: Tipos de marcas de GCP (Zelaya, *et al*; 2016)

De preferencia es recomendable usar el mayor (10) para tener una mayor visibilidad en las imágenes e identificarlos con facilidad ya en muchos casos puede haber objetos cercanos y se corre riesgo de confundirlos con la marca.

3.3.4 Colocación de los puntos de apoyo

Cuando se ha identificado el área dónde colocar los puntos de apoyo se procede a la obtención de las coordenadas. Para el ajuste altimétrico, en general, serán buenos todos los situados a nivel del suelo y que no presenten altura sobre el terreno.

Procedimiento para marcas sobre el terreno: mediante replanteo se estima la posición propuesta para el punto. Una vez confirmada la utilidad de la posición de la marca y se valida su utilidad como GCP, se colocan estacas u otro elemento que permita identificar posteriormente el punto del cual se tienen coordenadas. Después se posiciona el centro de la marca en la estaca y se procede a tomar las coordenadas. En caso anexarle coordenadas a la estaca y parpara que no queden visibles las marcas, al momento de colocar se verifica que las marcas queden con el centro en el punto marcado de la estaca para evitar errores y obtener mayor precisión.

El procedimiento para marcar zonas construidas: en caso de que no se pueda colocar estacas en el suelo (calles, rocosa, etc.) solo se pinta y se elige un lugar que pueda ser visible en las fotografías y se le asignan coordenadas con el equipo topográfico (Figura 19). También se podrán utilizar esquinas, intersecciones o cualquier otro elemento artificial que cumpla con las condiciones ya establecidas.



Figura 19: Marca en terreno en zona construida (Propia, 2019)

3.4 Adquisición de fotografías aéreas

La etapa de adquisición de las fotografías del proyecto de vuelo incluye ejecución de la misión de vuelo, preparación del equipo, movilización a la zona de despegue y aterrizaje, y la realización de procedimientos de seguridad necesarios para realizar la actividad, procesos de calibración y ajustes básicos.

3.4.1 Preparación del equipo

Antes de realizar las misiones de vuelo, se comprobó que los componentes del equipo estuviesen correctamente instalados para obtener los resultados con la calidad deseada.

Para la preparación del equipo se realizaron las siguientes actividades: revisión del completo nivel de carga de la batería inteligente, el control y el dispositivo móvil, colocación de las hélices, instalación de la batería, retirar el protector de la cámara (no retirarlo puede ocasionar que se dañe el motor [gimbal] que estabiliza y hace girar la cámara), colocación de la tarjeta de memoria donde se almacenan las fotografías (Micro-SD de hasta 64GB), preparación del control y conexión de la aplicación con la aeronave, y la calibración del equipo (Figura 20).



Figura 20: Previas revisiones del drone antes del vuelo (Propia, 2019)

3.4.2 Ejecución del vuelo fotogramétrico

Una vez preparado el equipo, se procedió para la planificación y control terrestre. Después de comprobar que el equipo está en condiciones óptimas, con el fin de realizar el vuelo y cubrir toda la zona deseada procedió a las siguientes etapas: preparación del dron, ejecución del vuelo y revisar las condiciones del uso del Mavic 2 pro DJI.

3.4.2.1 Preparación del dron

Capacidad de manipular el dron de forma manual, esto permitirá evitar obstáculos o recuperarlo en caso de interferencia con el GPS.

Antes del despegue, la aplicación envía la misión de vuelo al dron, la cual seguirá durante el vuelo automatizado. Para los drones de DJI el control se conecta mediante Wi-Fi o a través de un cable USB. EL control a su vez envía la señal al dron mediante una red inalámbrica propia de DJI.

Cuando se vuela con DroneDeploy Adaptado de Zelaya, *et al*; (2016):

- Se requiere que se mantenga la conexión con el dron: si la conexión se pierde, las imágenes no se tomarán ya que la aplicación es responsable de disparar la cámara del dron. Sin embargo, el vuelo continúa ya que los waypoints (Puntos de marca que la aeronave debe seguir) son configurados en el dron antes de despegar
- Se requiere una buena señal del GPS: Si el dron lee equivocadamente las coordenadas del GPS, podría volar en una dirección aleatoria. Esto pasa cuando el dron vuela en un entorno con interferencia (cerca de grandes estructuras metálicas y donde la señal del GPS rebota en objetos como grandes edificios). Entonces se requerirá la operación manual del dron para recuperarlo.
- Evitar obstáculos: No debe haber obstáculos entre el punto de despegue del dron y la elevación de vuelo durante el despegue o aterrizaje. Se debe seleccionar una zona despejada para el aterrizaje/despegue con al menos 10x10 metros donde se pueda tener fácilmente señal del GPS.

- La duración de la batería: Esta depende de múltiples factores como el viento, altitud, temperatura, etc., y es imposible predecir la duración de la batería. Si la aplicación está conectada con el dron y la batería está por debajo del 20%, la aeronave volará al punto de casa (Punto de despegue). Si la conexión con el dron se corta y la batería está por debajo del 15%, el dron aterrizará en el punto donde se encuentre. Se requerirá la operación manual del dron en esta etapa.

3.4.2.2 Ejecución del vuelo

Una vez realizado el proceso de calibración y verificado el nivel de la batería, es necesario ejecutar el despegue de la aeronave utilizando la aplicación. Cuando se está en condiciones para el vuelo, en la pantalla del equipo móvil, aparece la imagen que capta la cámara e indica que está recibiendo señal GPS y es “seguro volar”.

La aeronave debe elevarse y posicionarse cerca del centro de la misión (como máximo a 250m de éste) pero no muy lejos del control remoto (si es posible) para evitar inconvenientes al cargar la misión en el dron y optimizar el consumo de batería.

Una vez que se ha conectado correctamente, se continúa a completar las preparaciones para el vuelo Drone. Todas las revisiones deben ser positivas (señalado) para poder ejecutar la misión (Figura 21).



Figura 21: Alertas previas del vuelo (Adaptado de DroneDeploy, 2019)

Las que presenten inconvenientes (marcada con X) se deben solucionar, de lo contrario no se podrá realizar la misión.

Tabla: 12	
Lista de revisión previa al inicio de la misión	
Elemento con inconveniente	Posible solución
Conexión con el Drone	<ul style="list-style-type: none"> • Se debe revisar la conexión inalámbrica, verificando si está disponible. • Mover a la posición correcta antenas del control. • Reiniciar la aplicación y el drone si no se encuentra solución.
Tarjeta SD en el Drone	<ul style="list-style-type: none"> • Se deberá verificar que la tarjeta este instalada y que no esté llena. • Si no está llena debe esperar a que se actualice el estado
Satélites disponibles (Drone GPS satélites)	<ul style="list-style-type: none"> • Para realizar un vuelo se necesita como mínimo la conexión a 6 satélites GPS. Por lo que es necesario esperar un momento para que tenga señal de más satélites.
Cercanía del drone a la rejilla.	<ul style="list-style-type: none"> • La aeronave se tiene que acercar al centro de la rejilla ya que no puede estar alejada más de 250 metros antes de iniciar la misión
El drone no está Volando	<ul style="list-style-type: none"> • Encender los motores y hacer que despegue. Elevarlo de 1 a 2 metros de altura es suficiente.
Definición del Homepoint	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar que la revisión Drone GPS satélites sea positiva. Las coordenadas del Home point (punto de casa) se definen por la posición del drone en el despegue. Para ello es necesario tener suficiente señal GPS.
Niveles de la batería	<ul style="list-style-type: none"> • Revisar que la batería del drone este cargada. • Revisar que la batería del control este cargada. • Para todo vuelo es recomendable que la batería esté completamente cargada. El nivel de la batería debe ser mayor al 20% en todo caso.
Posición de la palanca P.A.F. del Control	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar que la revisión Drone GPS satélites sea positiva. • Mover la palanca P.A.F. del control a la posición F.
Conexión con la estación de tierra	<ul style="list-style-type: none"> • La aplicación debe estar conectada a la aeronave, en caso que no se pueda conectar se debe reiniciar el drone y el dispositivo (debe estar conectado a internet cuando se reinicie). • Si el drone no está volando hacer que despegue. • Si el firmware del drone no se ha actualizado, actualizarlo.

Fuente: Zelaya, *et al*; 2016.

Cuando la misión es cargada (última revisión) se puede dar la orden de inicio. A partir de este paso, no se requiere ningún control manual, salvo si se cancela el

vuelo (por las casusas ya antes mencionadas). Se procura que no se pierda la conexión inalámbrica con la aeronave, por lo que, durante el vuelo el control debe mantenerse en una zona abierta.

Desde el controlador de vuelo se comprueba que la trayectoria de la aeronave sea la programada y que los valores del número de satélites utilizables, el estado de la batería, la altura de vuelo y la velocidad durante el vuelo sean los adecuados para la misión.

3.4.2.3 Condiciones del uso del Mavic 2 pro DJI

Para la misión se toman en cuenta las condiciones del uso del Mavic 2 pro:

1) No utilizar la aeronave en condiciones climáticas adversas, como viento a una velocidad superior a 10 m/s, lluvia y bruma industrial.

2) Volar en espacios abiertos. Las estructuras altas y las grandes estructuras metálicas pueden afectar a la precisión de la brújula y del sistema GPS.

3) Evitar obstáculos como multitudes, líneas de alta tensión, árboles y masas de agua.

4) Reducir al mínimo las interferencias evitando zonas con altos niveles de electromagnetismo, incluidos repetidores y torres de radiotransmisión.

5) El rendimiento de la aeronave y de la batería está sujeto a factores medioambientales, como la densidad del aire y la temperatura. No se debe volar a altitudes superiores a 500 metros sobre el nivel del mar, ya que puede afectar al rendimiento de la batería y la aeronave.

3.5 Procesamiento de imágenes del vuelo

En este apartado se realizaron los pasos en el proceso de las imágenes con la ayuda del software y las herramientas (hardware) necesarias para el detallado del post-proceso del levantamiento fotogramétrico.

3.5.1 Agisoft PhotoScan

Agisoft PhotoScan es un producto de software que realiza el procesamiento fotogramétrico, utiliza la técnica de fotogrametría digital implementada con prudencia aplicada con métodos de visión por computadora, como resultado un sistema de procesamiento inteligente para el campo de la fotogrametría y demuestra que produce resultados precisos de calidad de imágenes digitales, genera datos espaciales en 3D, documentación del patrimonio cultural y producción de efectos visuales, así como para mediciones indirectas de objetos de varias escalas (Agisoft, 2019).

3.5.2 Versiones de software (Software y Hardware)

El software que se usó en esta investigación se encuentra en la versión 1.5.2 (64 bits), idioma (español)¹¹, cabe mencionar que, para esta investigación llevaron a cabo los siguientes pasos para generar cartografía además de modelos 3D, entre otros, para un buen resultado en la presente investigación. Este proceso se usó una computadora laptop con características: Sistema Operativo: Windows 10 home 64 bits¹².

3.5.3 Proyecto de levantamiento de un canal de la UNICACH

Es importante procesar los datos en una maquina con estas características mínimas, necesarias para los fabricantes de los softwares de fotogrametría. Por lo tanto, se procedió a realizar la metodología.

3.5.3.1 Creación de proyecto en Agisoft PhotoScan

Agisoft PhotoScan (Figura 22) es una herramienta bastante completa, a primera vista se observa un software básico, para esta investigación se usó los siguientes pasos a seguir para generar, cartografía además de modelos 3D, entre otros: procesamiento, inicial nube de puntos y malla, DSM y orto mosaico

¹¹ En dado caso usar la versión de prueba por 30 días, más información en el siguiente link: <http://www.agisoft.com/>.

¹² Fabricante del sistema: hacer con un procesador: Intel ® Core ™ i3-6006u CPU @ 2.00ghz su memoria instalada

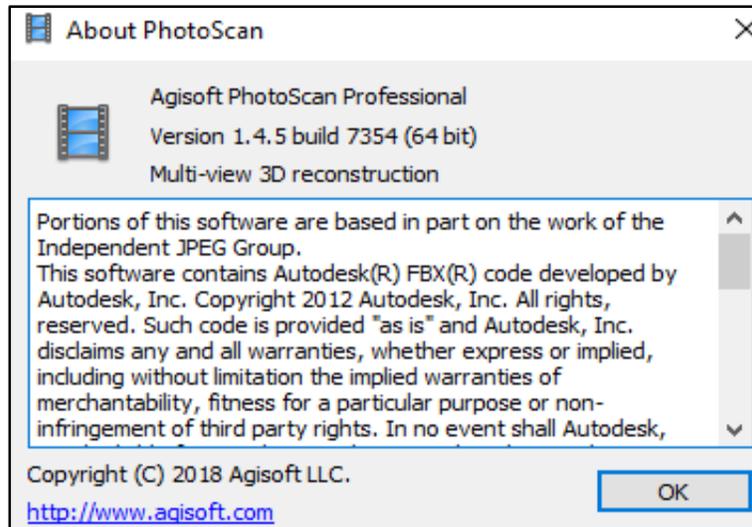


Figura 22: Pantalla inicio software Agisoft de PhotoScan (Adaptado de Agisoft PhotoScan, 2019)

3.5.3.2 Procesamiento inicial

Como primer paso, después de abrir la herramienta Agisoft, se crea un archivo con la herramienta “Guardar como”, como se observa en la Figura 23.

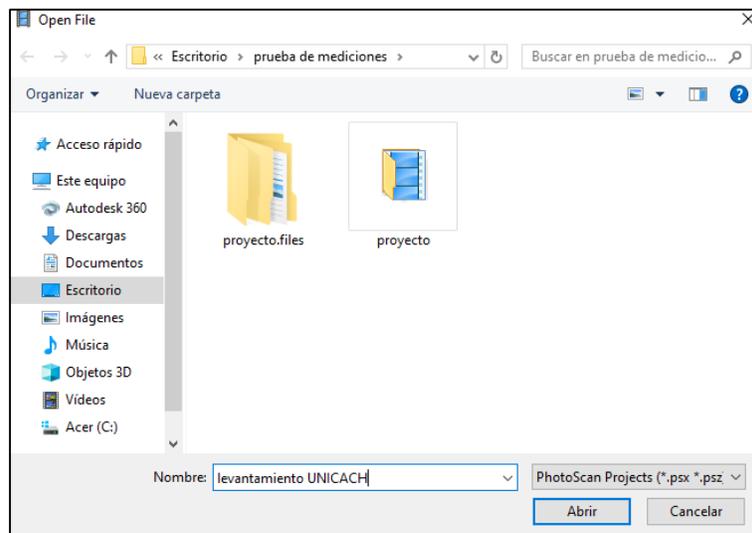


Figura 23: Crear un nuevo proyecto (Adaptado de Agisoft PhotoScan, 2019)

Si la herramienta se encuentra en inglés, se edita de la siguiente manera (Figura 24).

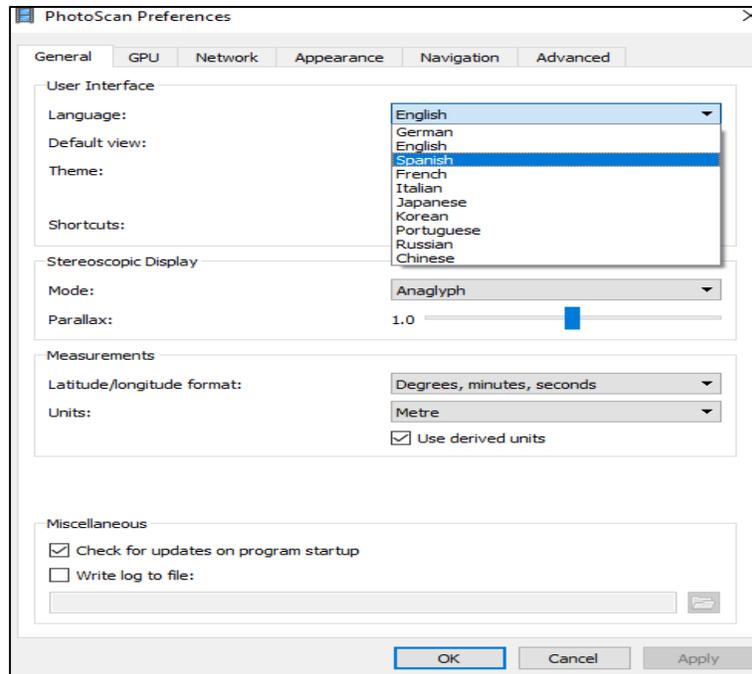


Figura 24: Elegir idioma (Adaptado de Agisoft PhotoScan, 2019)

Antes de realizar cualquier proceso, se debe configurar el procesador gráfico que va usar la Pc para realizar los procesamientos (Figura 25).

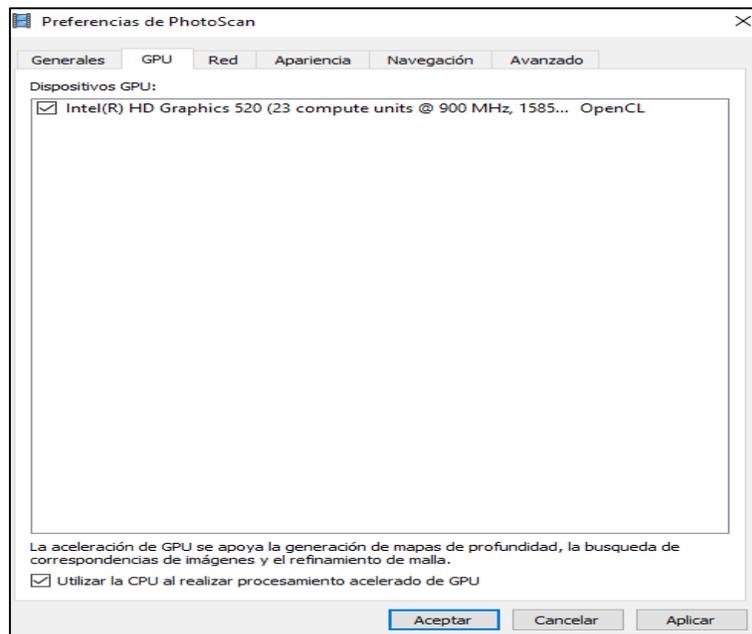


Figura 25: Abrir el lenguaje de computo abierto del CPU (Adaptado de Agisoft PhotoScan, 2019)

Posteriormente, añadir fotografías desde la pestaña flujo de trabajo- añadir las fotografías, en la carpeta de imágenes, se puede ver el número de las mismas y confirmar con Ctrl+E para señalar todas (Figura 26).

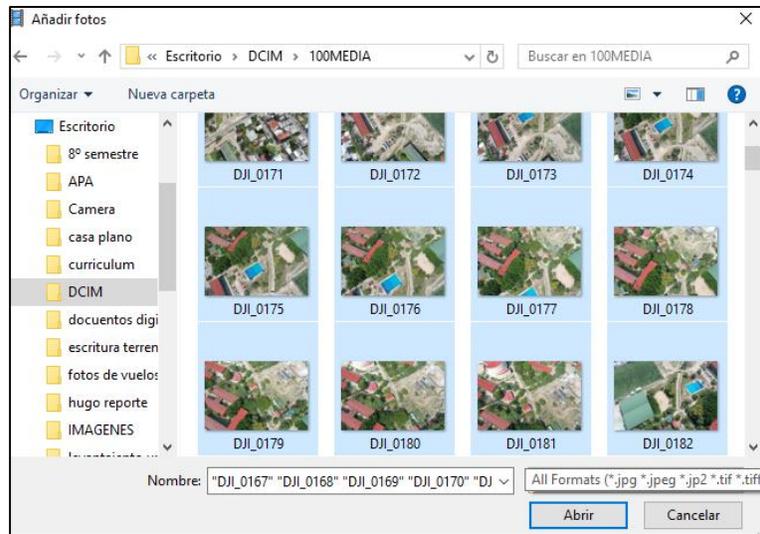


Figura 26: Importar fotos (Adaptado de Agisoft PhotoScan, 2019)

En la pestaña ajustes dentro de “espacio de trabajo”, se observa que las fotografías se encuentran en sistema de Coordenadas Geográficas WGS-84, posteriormente se procede a configurar (Figura 27).

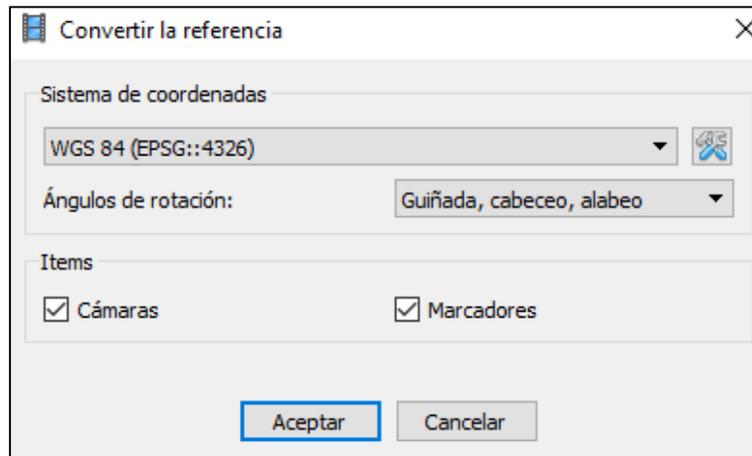


Figura 27: Sistema de coordenadas en Agisoft PhotoScan (Adaptado de Agisoft PhotoScan, 2019)

Calibrar cámaras, es una exigencia cuando se tiene aparatos con cámaras diferentes, en este caso el software automáticamente detecta la cámara del Inspire 1 y sucede lo mismo con todos los aparatos de la marca DJI. Para ver posición de cámaras, dar *click* en la posición de cámaras ubicada en la paleta principal. Si se desea trabajar en otro tipo de coordenadas solo buscaremos en la paleta (Figura 28).

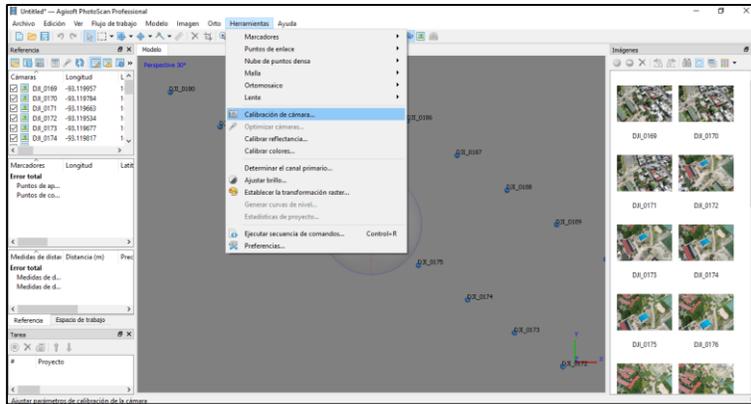


Figura 28: Calibración de la cámara (Adaptado de Agisoft PhotoScan, 2019)

Se realiza la orientación de fotos, necesaria para que organice las fotografías y las oriente según sus coordenadas: Ahora, se activa pre-selección de referencia y pre-selección genérica, se trabaja con las coordenadas de las fotografías y las coordenadas de los puntos GCP, En la pestaña “avanzado” dejar por defecto, este proceso tarda entre 30 m y 1 hora (Figura 29), depende de la cantidad de fotografías y respuesta de máquina.

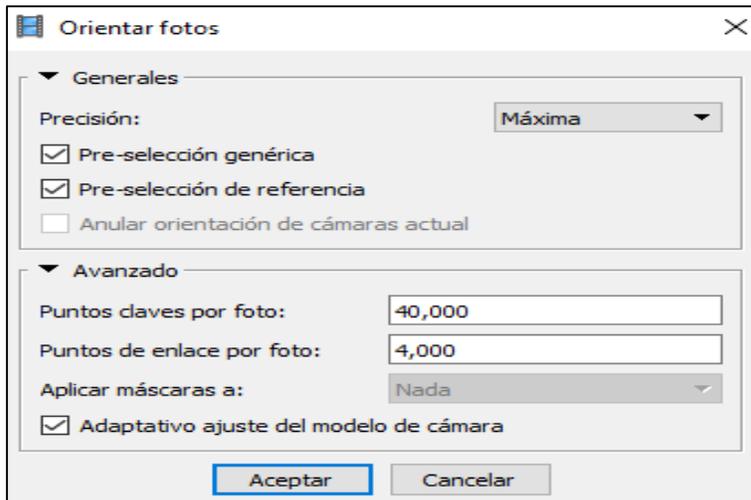


Figura 29: Orientación de la cámara (Adaptado de Agisoft PhotoScan, 2019)

Este proceso tarda entre 30 m y 1 hora, depende de la cantidad de fotografías y respuesta del hardware.

Al terminar, se observa una nube de puntos no densa, que indica que encontró coincidencia entre ella y que se encuentran orientadas correctamente (Figura 30).

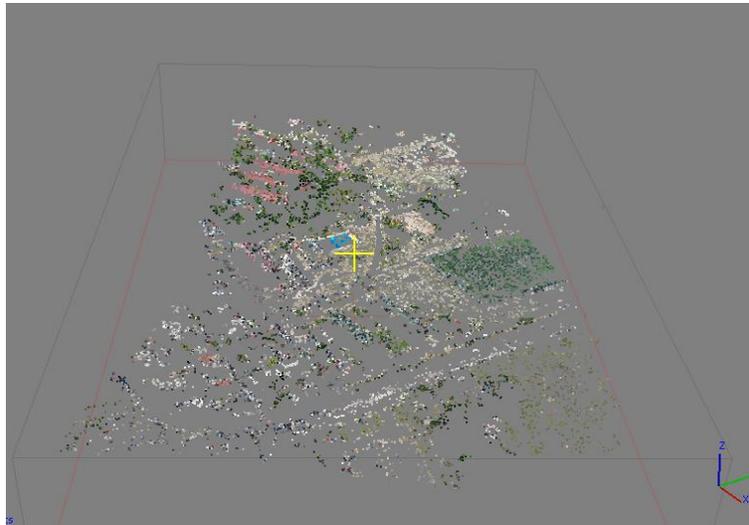


Figura 30: Orientación terminada, resultado (Propia, 2019)

Distribución de GCP en las imágenes y software: Dar clic en cualquier Imagen y buscar la señal en campo, es decir el punto preciso donde se toma el punto GPS, y nombrar, se recomienda nombrar como GCP1, GCP2, GCP3, etc... Para ubicar dicho punto, se debe realizar clic derecho- crear marcador y colocar el nombre, como se observa en la Figura 31.

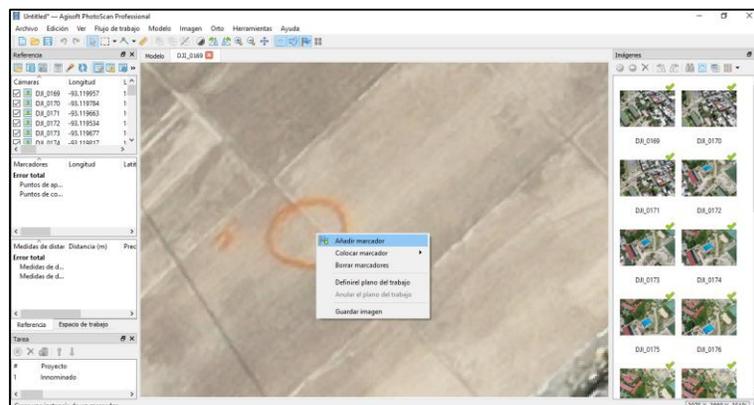


Figura 31: Ubicación de los puntos GCP en el software (Adaptado de Agisoft PhotoScan, 2019)

Colocar marcador en el centro del círculo con un punto en medio, usar zoom para tener precisión (Figura 32).

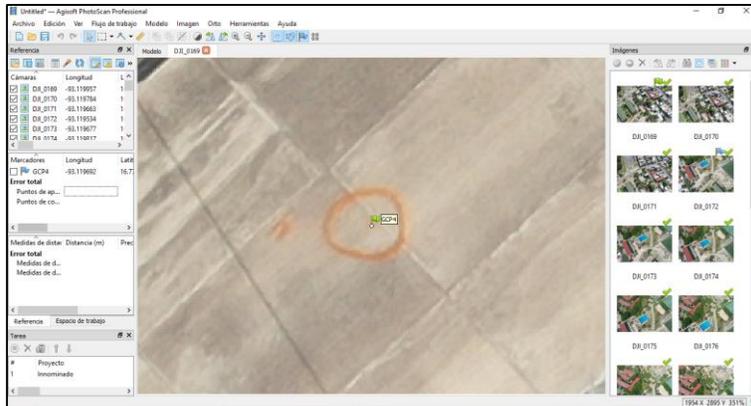


Figura 32: Ubicación del número de marcador (Adaptado de Agisoft PhotoScan, 2019)

Al colocar el punto de control, en la caja de imágenes en algunas fotografías aparecerá una bandera azul y una marca plateada como se ve la Figura 33.

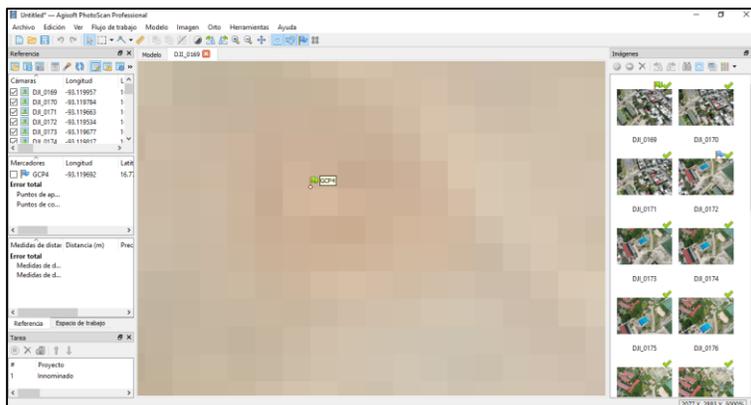


Figura 33: Marca plateada (Adaptado de Agisoft PhotoScan, 2019)

La marca plateada aparece cuando el software no reconoce al 100 % el punto entre fotografías, esto quiere decir que se tiene que ubicar el punto exacto, una vez hecho esto, aparecerá una bandera verde, que indica calibración exitosa y la bandera azul significa que Agisoft reconoció el punto, pero se necesita afinar, y colocar en el punto exacto (Figura 34).

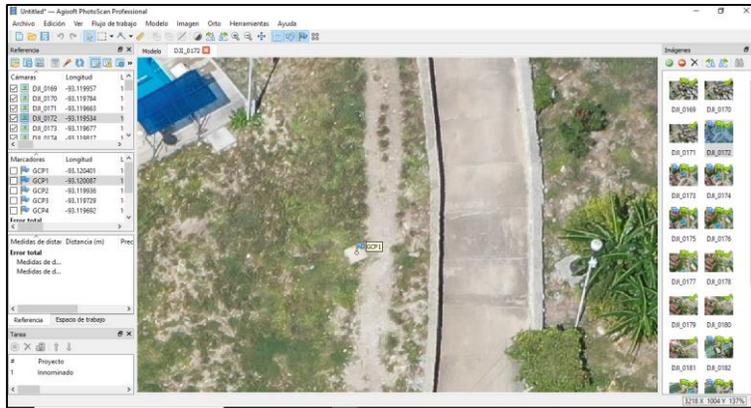


Figura 34: Marca azul, software falta para afinarlo (Adaptado de Agisoft PhotoScan, 2019)

Se coloca los puntos homologos en cada foto hasta tener calibradas por cada foto con la bandera verde (Figura 35).

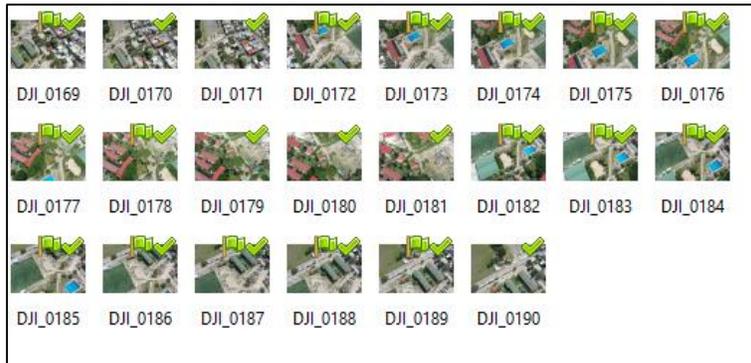


Figura 35: Marcas corregidas correctamente (Adaptado de Agisoft PhotoScan, 2019)

Para la optimización de cámaras, se coloca sobre ellas puntos de control terrestres, Herramientas - Optimizar cámaras. La optimización de cámaras puede demorar entre 10 -15 minutos. Dependiendo la cantidad de imágenes a procesar (Figura 36).

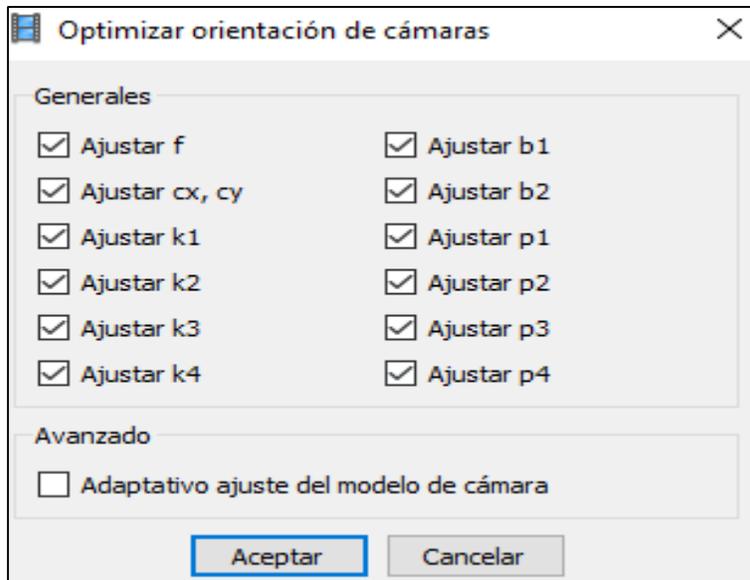


Figura 36: Optimizar cámaras (Adaptado de Agisoft PhotoScan, 2019)

Verificar el error de los puntos de control y el error en pixeles que se obtienen en el procesamiento, cabe resaltar, que para una consultoría de un área tan grande no siempre se necesita demasiada precisión, en este proyecto con una altura de vuelo de 100 m.

Marcadores	Este (m)	Norte (m)	Altitud (m)	Precisión (m)	Error (m)	Proyecciones	Error (pix)
<input checked="" type="checkbox"/> GCP1	487169.850000	1854801.170000	586.039000	0.005000	0.054693	8	0.409
<input checked="" type="checkbox"/> GCP2	487219.860000	1854757.110000	585.137000	0.005000	0.175695	14	0.557
<input checked="" type="checkbox"/> GCP3	487241.780000	1854751.730000	584.069000	0.005000	0.084966	12	0.420
<input checked="" type="checkbox"/> GCP4	487245.560000	1854703.020000	580.168000	0.005000	0.039326	13	0.426
Error total							
Puntos de ap...					0.103230		0.465
Puntos de co...							

Figura 37: Detalle de GCP con control terrestre de altura 100 m (Adaptado de Agisoft PhotoScan, 2019)

En este caso se comparó llevando diferente altura de vuelo, para la comprobación metros con los mismos parámetros de apoyo terrestre, y llevo a cabo en este proyecto (Figura 38).

Marcadores	Este (m)	Norte (m)	Altitud (m)	Precisión (m)	Error (m)	Proyecciones	Error (pix)
<input checked="" type="checkbox"/> GCP1	487169.850000	1854801.170000	586.039000	0.005000	0.082624	9	0.368
<input checked="" type="checkbox"/> GCP2	487219.860000	1854757.110000	585.137000	0.005000	0.209460	10	0.506
<input checked="" type="checkbox"/> GCP3	487241.780000	1854751.730000	584.069000	0.005000	0.084435	10	0.716
<input checked="" type="checkbox"/> GCP4	487245.560000	1854703.020000	580.168000	0.005000	0.060545	8	0.325
Error total							
Puntos de ap...					0.123991		0.514
Puntos de co...							

Figura 38: Detalle de GCP con control terrestre de altura 140 m (Adaptado de Agisoft PhotoScan, 2019)

En el caso de que exista vehículos en movimiento lo recomendable es dar clic en la fotografía donde se encuentra el o los vehículos, luego en la paleta principal, escoger tijeras inteligentes y recortar, en seguida añadir este recorte a máscara y optimizar cámaras de como se observa en la Figura 39.

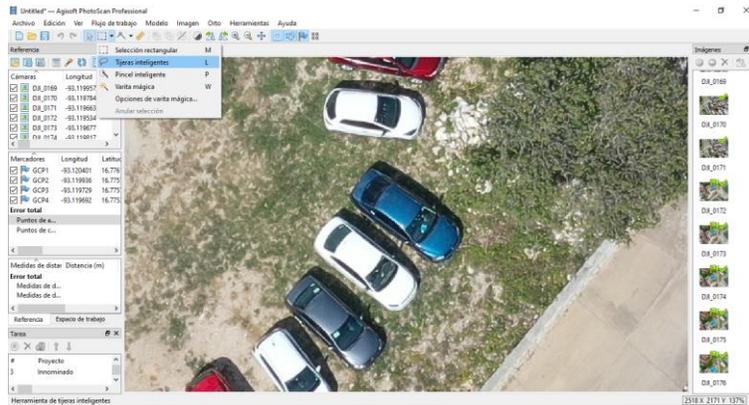


Figura 39: Herramienta tijeras inteligentes (Adaptado de Agisoft PhotoScan, 2019)

Al optar por dicha herramienta, permitirá recortar el vehículo, De esta manera estos objetos no intervendrán en los procesos posteriores (Figura 40).

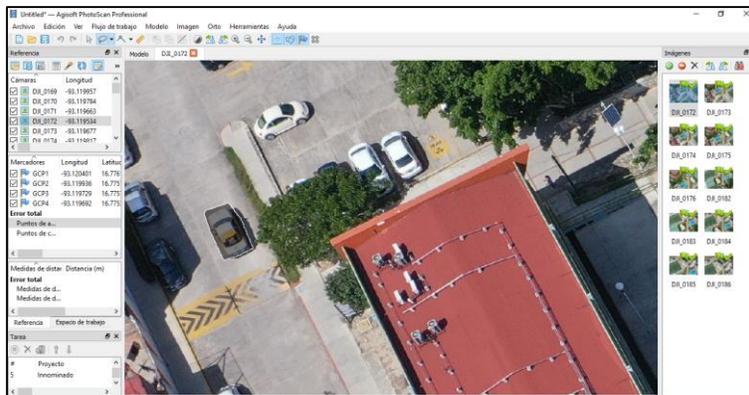


Figura 40: Añadir o cortar máscaras (Adaptado de Agisoft PhotoScan, 2019)

3.5.3.3 Nube de puntos y malla

Esta parte fundamental para la obtención de una modelación, se encuentra en Flujo de trabajo - creación de nube densa y seguir los pasos de la imagen siguiente (Figura 41), extra alta puede llegar a dura entre 2 o 3 horas su proceso, filtrado: agresivo (tarda 2 horas más), igual en calidad se puede escoger entre moderado, alto, o bajo (Figura 41), para esta investigación se realizó con calidades altas para presentar una buena modelación.

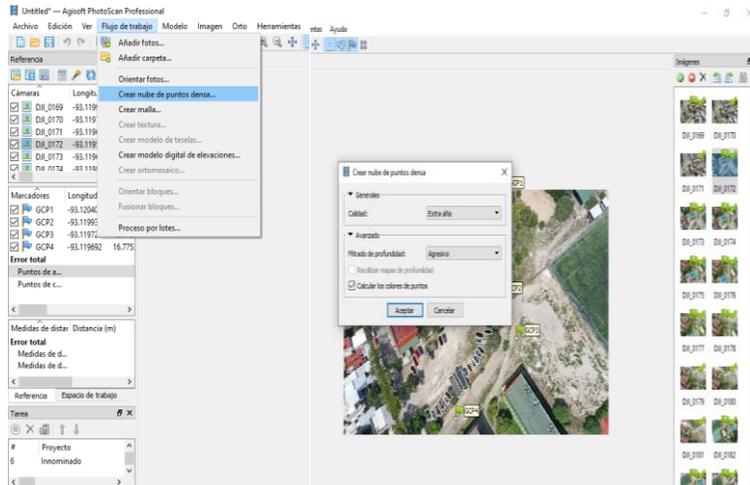


Figura 41 : Crear nube de puntos densa (Adaptado de Agisoft PhotoScan, 2019)

Después de cinco horas de procesamiento, se obtiene el modelo 3D de nube de puntos densa, y se puede observar toda la zona con buena resolución (Figura 42).

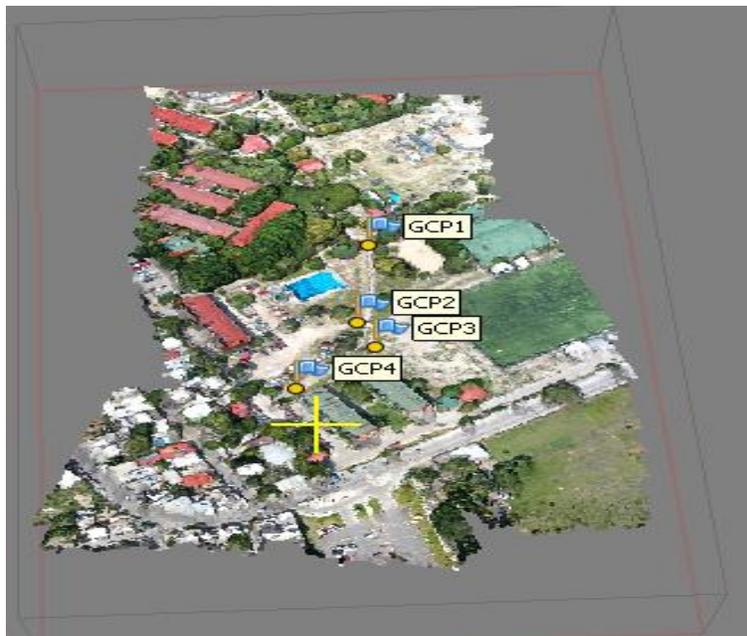


Figura 42: Resultado de la nube de puntos densa (Adaptado de Agisoft PhotoScan, 2019)

Depuración de nube de puntos densa: para clasificar el terreno de cualquier objeto, estructura o vegetación de la zona. Para realizar este proceso: clic en pestaña de Herramientas- Nube de puntos densa- clasificar terreno desde creado (Nunca Clasificado) (Figura 43).

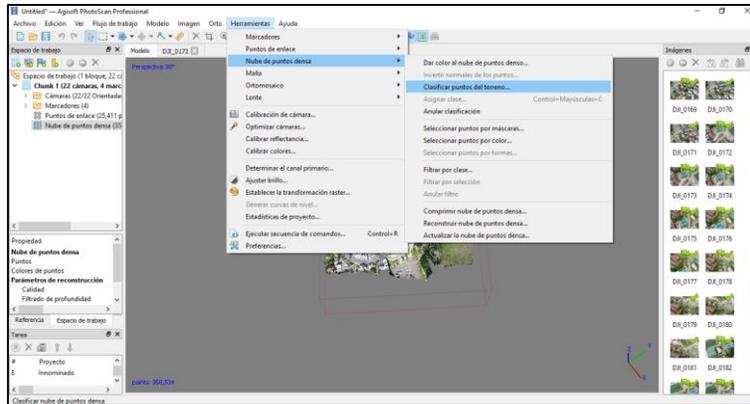


Figura 43: Clasificación de nube de puntos (Adaptado de Agisoft PhotoScan, 2019)

Es importante escoger la pestaña “creado (nunca clasificado)”, debido a que, casi siempre será la primera vez que procesamos determinada zona y se va a clasificar (Figura 44).

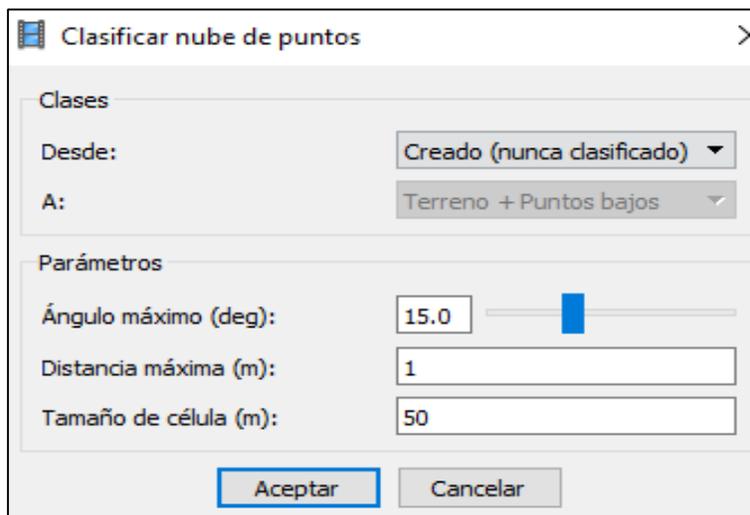


Figura 44: Ajustes en clasificación (Adaptado de Agisoft PhotoScan, 2019)

El resultado de la clasificación de terreno y todo lo que se encuentra en color blanco el software no lo identifico como terreno de tal manera que lo eliminó: en este caso edificios y vegetación.

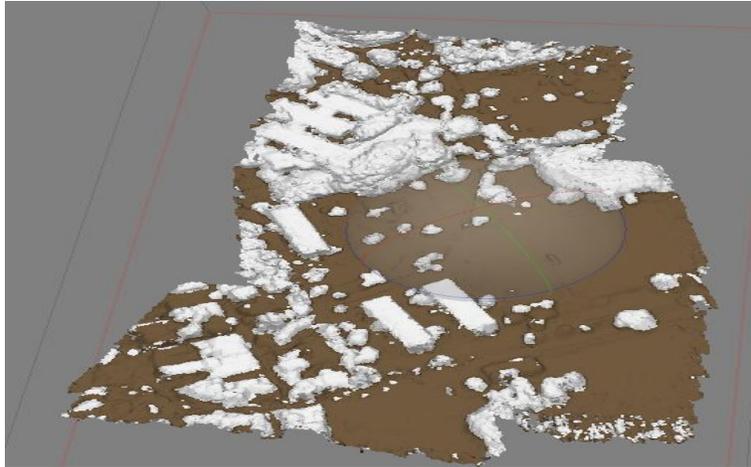


Figura 45: Clasificación de la nube de puntos densa (Adaptado de Agisoft PhotoScan, 2019)

Si el software no identificó automáticamente algunos elementos o estructuras, Agisoft permite al usuario realizar esta limpieza de forma manual, para ello en la paleta principal elegir el ícono de selección de forma- Seleccionar de forma libre, señalar lo que se requiere eliminar y suprimir para quitar de la modelación: Este proceso puede ser tan afinado como se desee al eliminar manualmente, se puede tener más detalle (Figura 46).

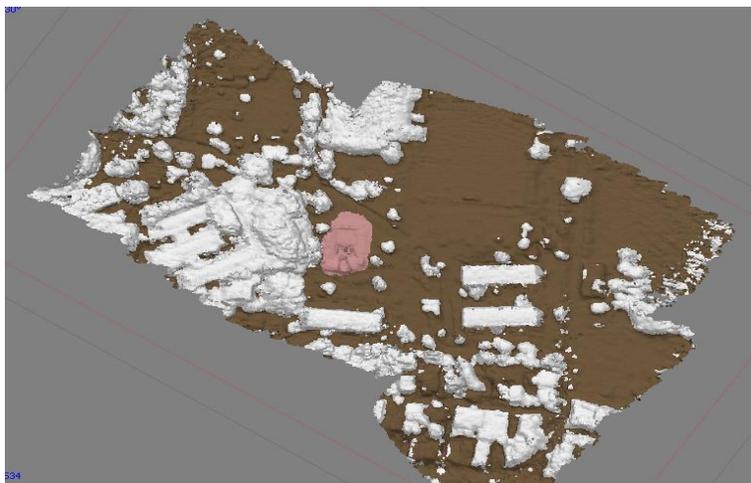


Figura 46: Eliminación de objetos manualmente (Adaptado de Agisoft PhotoScan, 2019)

Crear Malla: Para realizar este proceso en la pestaña de flujo de trabajo- Crear malla, y seguir los pasos de la imagen siguiente: Tener en cuenta que en clase de puntos debemos escoger solo terreno, el interés del caso de estudio.

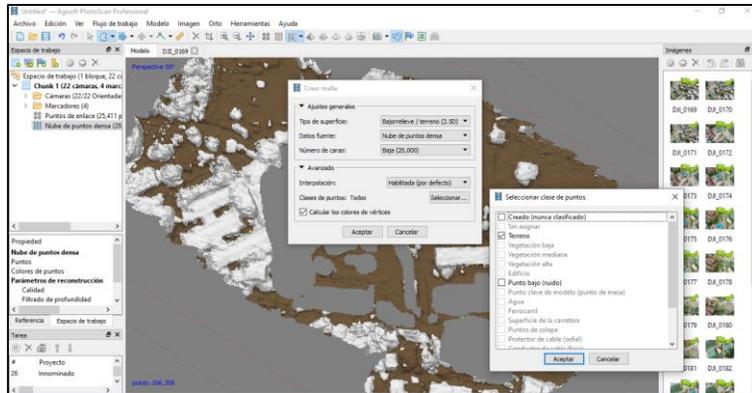


Figura 47: Creación de la malla (Adaptado de Agisoft PhotoScan, 2019)

Después de haber realizado todo proceso, revisar y visualizar los tipos de mallas que se obtiene, desde la paleta principal, dando clic a los iconos: color, sombreado y alambre: en el caso de la imagen de estudio salió borroso debido a que se borraron los edificios, coches y árboles, ya que no es de interés (Figura 48).



Figura 48: Resultado de la malla a color (Adaptado de Agisoft PhotoScan, 2019)

La malla es para observar la topografía de la zona de estudio (Figura 49).

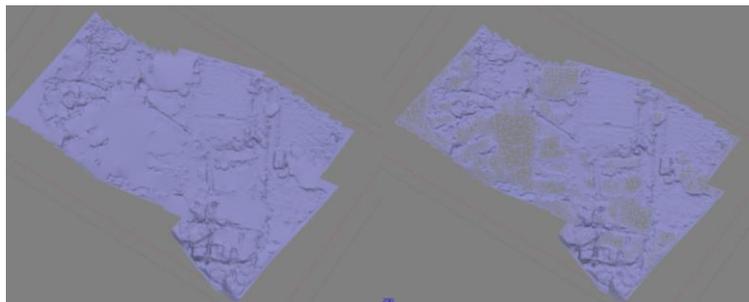


Figura 49: Resultado- malla de sombra y Malla alambre (Adaptado de Agisoft PhotoScan, 2019)

3.5.3.4 DSM, Orto mosaico

El MDE se realiza desde flujo de trabajo, cabe resaltar, que no se recomienda reutilizar curvas de nivel con un Modelo de elevación de alta calidad, sobre todo dentro del software, ya que la alta calidad de la misma confunde puntos de altura “z”, se recomienda cambiar si es necesario la calidad del DEM para obtener posteriormente las curvas, alta calidad se refiere a la precisión del pixel, se considera importante obtener un DEM (Figura 51) de alta calidad para los diferentes usos en otros softwares.

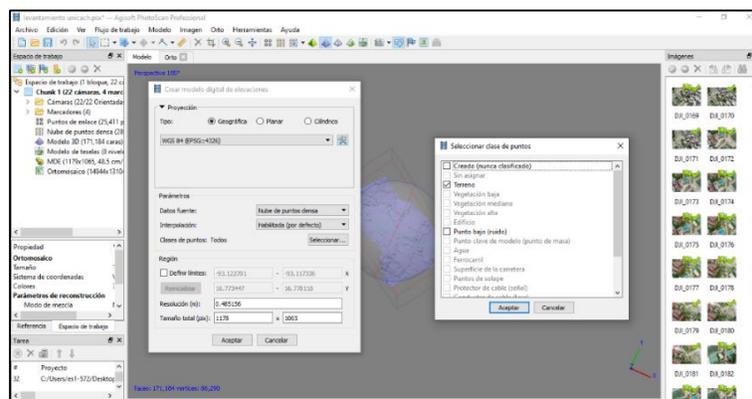


Figura 50: Crear MDE (Adaptado de Agisoft PhotoScan, 2019)

Después de crear el DEM se puede crear curvas de nivel, desde la pestaña herramientas y exportar estas curvas en el formato deseado, pero como se comenta anteriormente no es recomendable usar herramientas de tipo SIG. Las curvas de nivel en este software vienen etiquetadas con datos de elevación (Figura 52).

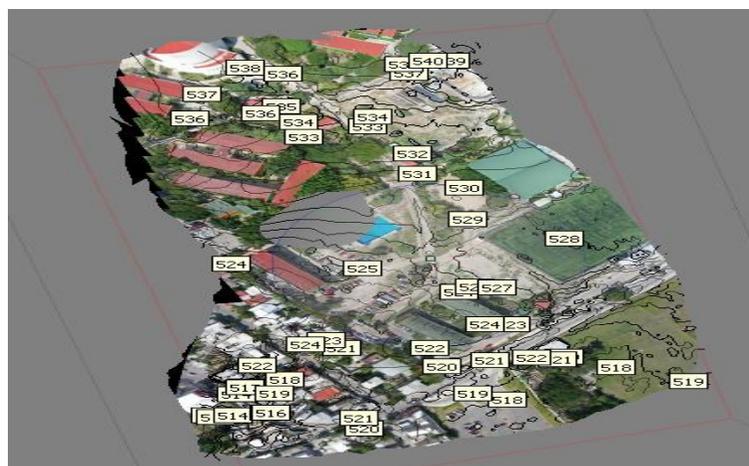


Figura 51: Curvas de nivel (Adaptado de Agisoft PhotoScan, 2019)

Como siguiente paso: generar la orto-foto del lugar, esto lo realiza desde lujo de trabajo – crear Orto mosaico (Figura 53).



Figura 52: Orto mosaico de precisión (Adaptado de Agisoft PhotoScan, 2019)

Una vez terminado los pasos, se ingresa en: archivo exportar en formatos, para ello se pueden interpretar e ilustrar en diferentes softwares: Nube de puntos densa - Exportar en formato. Las, Modelo – Exportar en formato. Obj, Fbx, orto mosaico- Exportar en los formatos - JPG, TIFF Y DTM- Exportar en formato TIFF.

Para finalizar el proceso, generar un informe en formato “PDF”, los software son completos y permiten generar un informe sobre todos los procesamientos realizados. Para un buen análisis de la presente investigación.

Capítulo IV. Análisis de resultado: tiempo y precisión de método directo e indirecto

En este capítulo se analizarán los resultados obtenidos durante la investigación científica de la comparación del método directo e indirecto es cuestión de tiempo y precisión.

4.1 Resultado de puntos (método directo)

Para la obtención de precisión se realizaron las diferentes consideraciones estrictas en la metodología, según el nivel de medición y análisis de la información del vuelo correspondiente a la distribución de los datos.

Lo planteado anteriormente en la metodología directo con receptor RTK, tomando en cuenta varios factores, como la precisión del equipo, sistema de proyección utilizado, los errores al realizar un levantamiento topográfico, tomando en cuenta los aspectos de una buena toma de datos se obtuvieron los siguientes resultados en la Tabla 13.

Tabla: 13 Datos de los puntos de control de equipo GPS Sokkia RTK GRX2			
DESCRIPCION	Norte (m)	Este (m)	Cota (m.s.n.m.)
GCP1	8989258.25	773562.30	590.55
CGP2	8989321.32	773617.17	588.45
GCP3	8989269.47	773668.95	584.78
GCP4	8989218.05	773610.43	580.79

Fuente: Propio, 2019.

Los resultados obtenidos del levantamiento topográfico con el equipo GPS Sokkia RTK GRX2, fueron los valores reales con Coordenadas UTM. Aunque fue importante considerar el valor real, ya que, la exactitud válida para el posicionamiento preciso en tiempo real, fueron necesarios los tipos de instrumentos de medición para el levantamiento topográfico (adecuado para el tipo de levantamiento que se realizó) (Noguera & Mangiaterra, 2012). Cabe mencionar que estos valores reales fueron la base para medir la precisión en el levantamiento fotogramétrico.

4.1.1 Resultado de puntos (método indirecto)

Se plantearon los resultados de diferentes vuelos desde una altura de 100 m (metros), como se muestra en la Tabla 14 con los errores tomando base el levantamiento topográfico.

Tabla: 14						
Resultado del vuelo fotogramétricos con una altura de 100 m						
Punto en el vuelo de 100 m				Resultado de error		
DESCRIP- CION	Norte (m)	Este (m)	Cota (m.s.n.m.)	Error en X (cm)	Error en Y (cm)	Error en Z (cm)
GCP1	8989254.02	773558.86	590.83	4.23	3.44	-0.28
CGP2	8989335.24	773627.69	586.44	-13.92	-10.52	2.01
GCP3	8989262.58	773664.47	586.89	6.89	4.48	-2.11
GCP4	8989215.18	773607.78	580.48	2.88	2.65	0.31

Fuente: Adaptado de Agisoft PhotoScan, 2019.

Los valores obtenidos del primer vuelo con una altura constante de 100 m, se procesaron con el software Agisoft PhotoScan, obteniendo el error Y (norte), X (este) y Z (altura o cota) de los puntos de control, la cual el menor valor en el norte fue de 2.65501 cm (centímetros) del GCP4, el mayor valor en el norte fue -10.5265 perteneciente al GCP2, la cual, el menor valor en (X) fue de 2.8840 cm del GCP4, el mayor valor en el X es -13.9214, que pertenece al GCP2, Por último, el menor error de Z cota fue -0.287658 cm GCP1 y la mayor cota -2.11875 cm del GCP3.

Así mismo, se realizó otro vuelo de 140 m (Tabla 15) de modo que, se analizaron y se tomaron los datos de vuelo y las precisiones de cada una de ellas.

Tabla: 15						
Resultado del vuelo fotogramétricos con una altura de 140 m						
Puntos del vuelo de 140 m				Resultado de error		
DES- CRIP- CION	Norte (m)	Este (m)	Cota (m.s.n.m.)	Error en X (cm)	Error en Y (cm)	Error en Z (cm)
GCP1	8,989,254.02	773,558.86	590.83	7.01	4.12	0.75
CGP2	8,989,335.24	773,627.69	586.44	-15.70	-12.32	-0.92
GCP3	8,989,262.58	773,664.47	586.89	2.91	7.95	-0.60
GCP4	8,989,215.18	773,607.78	580.48	5.94	0.25	0.76

Fuente: Agisoft PhotoScan, 2019.

Al procesar las fotos del vuelo con la altura de 140 m, se obtuvieron el error en norte (Y), este (X) y altura (Z), de los puntos de control, el cual el menor valor en Y fue 0.250057 cm en GCP4, el mayor valor en el norte Y -12.3254, que pertenece al GCP2. el cual el menor valor en (X) fue 2.91118 cm del GCP3, el mayor valor en el X fue -15.7075, que pertenece al GCP2, Por último, el menor error en cota fue -0.604848 Cm GCP3, así mismo, la mayor cota fue -0.926256 Cm del GCP2.

En la tabla 15 se observa el margen de error entre los vuelos antes mencionados tomando la como la base el levantamiento topográfico, los números negritas en cursiva son los datos precisos de la altura 140 , mientras tanto en las restantes son los resultados de la precisión de 100 m , como se visualiza existe más precisión en la el vuelo 100 m, mientras tanto en vuelo 140 m solo GCP 2 es precisa en (Z) con 1.09 cm, GCP 3 en (X) 3.98 cm y (Z) 2.05 cm y por último el GCP 4 la única precisa es en (Y) 2.4.

Tabla: 16
Diferencia de la precisión del vuelo 100 y 140

DESCRIP- CION	Error en X (cm)	Error en Y (cm)	Error en Z (cm)
GCP1	2.78	3.57	0.47
CGP2	1.78	1.8	1.09
GCP3	3.98	3.47	2.05
GCP4	3.06	2.4	0.45

Fuente: Propia, 2019.

De acuerdo con los resultados obtenidos del levantamiento de la altura de vuelo de 100 m, del solapamiento y total de GCP, la mayor precisión se observó en la parte central del levantamiento fotogramétrico, tomando en cuenta donde se obtuvieron más traslapes de las imágenes tomadas por el dron y la parte exterior del levantamiento, debido al poco solapamiento; es menor la precisión (Figura 55).

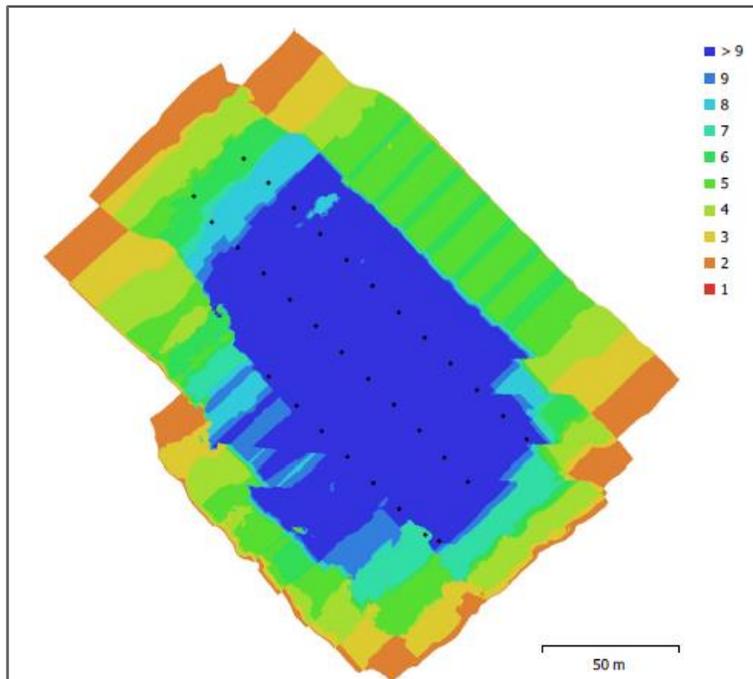


Figura 53: Posición de cámaras y solapamiento de imágenes de vuelo de 100 m.
Fuente: Propia, 2019.

En el resultado que se muestra en la Figura 56, el color indica el error en Z, mientras que el tamaño y forma de la elipse representa el error en X y Y, donde se observa que la mayor precisión es en el punto GCP 1 y 4, mientras que en el GCP 2 y 3 observaron más error, debido a, la vegetación y solapamiento se obtiene más errores en el momento de verificar los puntos homólogos, como se muestra en la Figura 35.

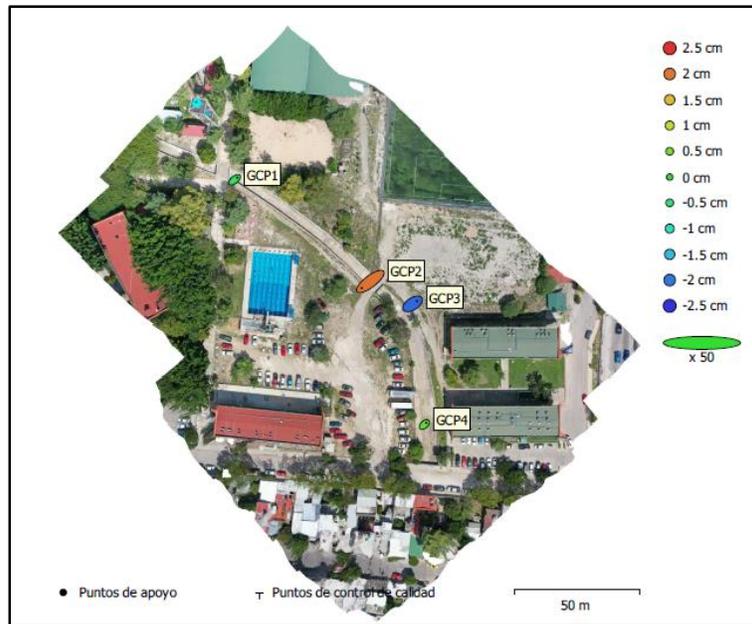


Figura 54: Posición de puntos de apoyo y estimación de errores de vuelo de 100 m (Propia, 2019)

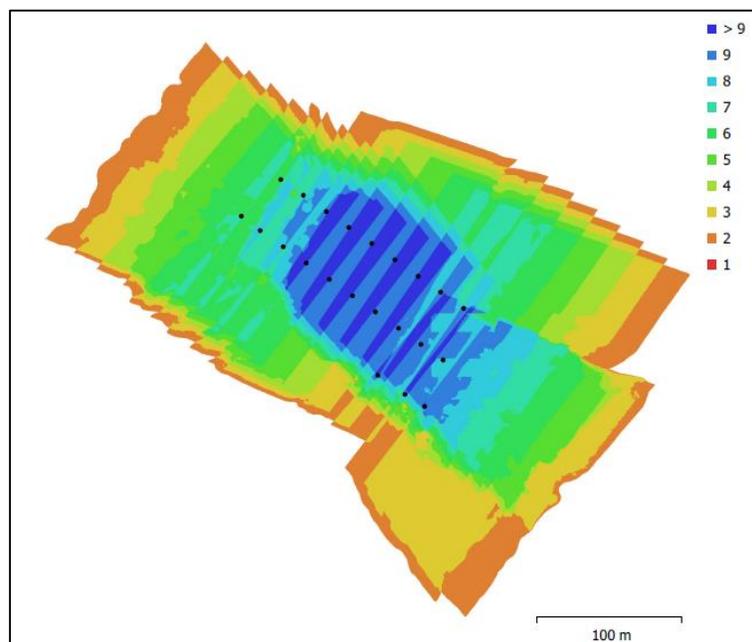


Figura 55: Posición de cámaras y solapamiento de imágenes de vuelo de 140 m (Propia, 2019)

De acuerdo a los resultados obtenidos del levantamiento de la altura de vuelo de 140 m, del solapamiento y total de GCP, y la mayor precisión se visualiza en la parte central del levantamiento fotogramétrico, ya que es donde se obtuvieron más traslapes de las imágenes tomadas por el dron y la parte exterior del levantamiento es por poco solapamiento es menor precisión.

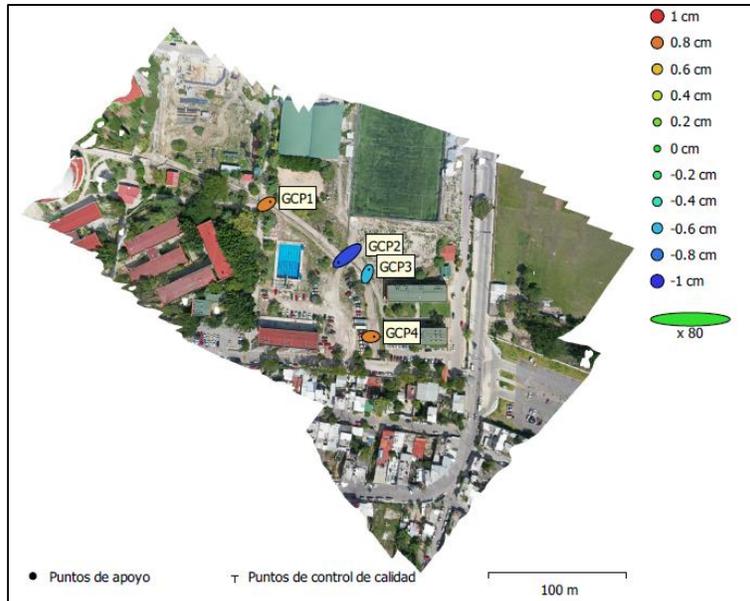


Figura 56: Posición de puntos de apoyo y estimación de errores de vuelo de 140 m (Propia, 2019)

En el resultado que se muestra en la Figura 56, donde el color indica el error el Z mientras el tamaño y forma de la elipse representa el error en X y Y, observando, que la mayor precisión es en el punto GCP 1, 3 y 4 mientras en el GCP 2 se visualiza más error, debido a, la vegetación y solapamiento se obtiene un error de más al momento de verificar los puntos homólogos como se muestra la Figura 35 al procesar las imágenes teniendo en cuenta la altura de vuelo de 140 m.

4.2 Resultado de Tiempo

Uso de GPS RTK Sokkia GRX2 la toma de datos de los puntos resaltantes, tal como se tiene el concepto de un levantamiento topográfico detallado con el equipo calibrado y probado, cuyo procesamiento se realizó a través resultados de las coordenadas obtenidas, el tiempo de realización en el proceso de campo, iniciando con la georreferenciación, y el levantamiento topográfico de las zonas de estudio, los factores considerados (Tabla 15) fueron claves importantes para el tiempo del levantamiento topográfico.

Tabla: 17 Variantes de tiempo			
variable de tiempo	Vuelo de 100 m	Vuelo de 140 m	RTK
Levantamiento de datos	00:02:48 hrs	00:01:58 hrs	02:00:00 hrs
Control terrestre	00:15:00 hrs	00:15:00 hrs	00:15:00 hrs
Nube de puntos	00:01:57 hrs	00:01:44 hrs	0 hrs
Mapa de profundidad	00:03:26 hrs	00:00:59 hrs	0 hrs
Nube de puntos densa	00:03:22 hrs	00:00:59 hrs	0 hrs
Modelo Teselas	00:01:25 hrs	00:05:17 hrs	0 hrs
MDE	00:00:11 hrs	00:00:51 hrs	0 hrs
Orto mosaico	00:07:02 hrs	00:05:40 hrs	0 hrs
Curvas de nivel	00:00:15 hrs	00:00:15 hrs	00:10:00 hrs
Total de tiempo	0:35:26 hrs	00:32:43 hrs	2:25:00 hrs

Fuente: Propia, 2019.

Con el apoyo del dron Mavic 2 pro, se realizó el levantamiento indirecto a través de tomas aéreas con el uso de la aeronave con la cámara adecuada para este tipo de trabajo, aunado a ello, el software indicado con las dos alturas de vuelo (100 m y 140 m), dando como resultado de tiempo ejecutado tal cual se muestra en la Tabla 16.

Las imágenes obtenidas con la altura de 100 m, teniendo en cuantas las duraciones del vuelo esto captó 32 imágenes en un tiempo de 2.48 minutos, con un uso de batería de 11.48%, de igual manera en la altura de 140 m, teniendo en cuanta la duración del vuelo capturando 22 imágenes en un tiempo de 1.58 minutos, con un uso de batería de 7.31%.

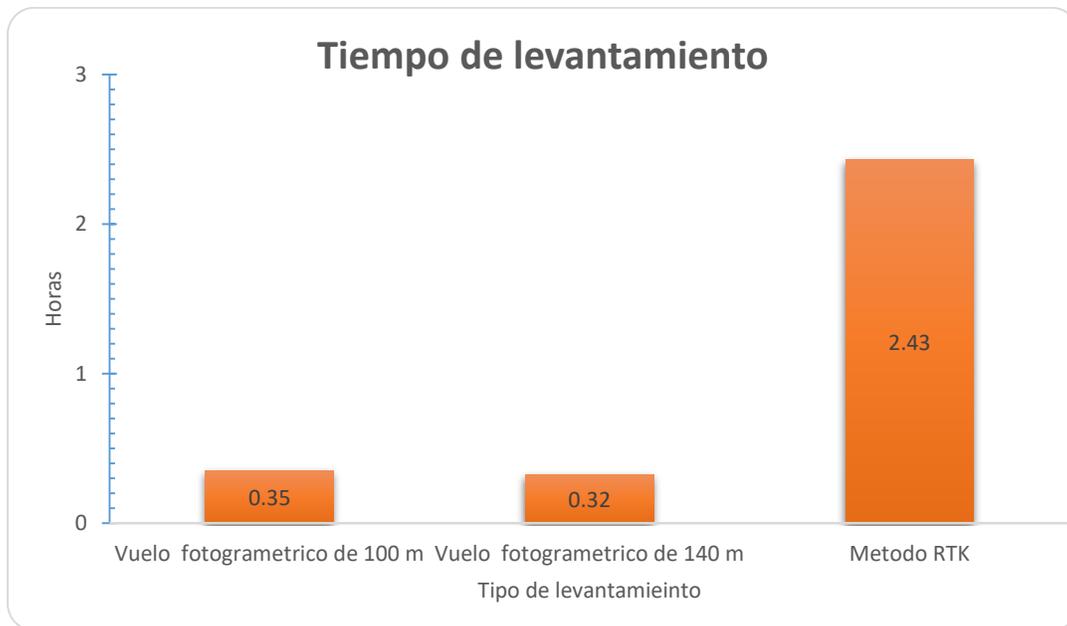


Figura 57: Grafica de diferencia de tiempo (Propia, 2019)

Todo el procedimiento realizado en el apartado de tiempo de vuelo, es con la finalidad de generar informe de tiempo de proceso (procesamiento de imágenes).

Cada uno de los tratamientos de levantamiento con las diferentes alturas de vuelo con dron y el método convencional, los resultados obtenidos fueron de acuerdo al objetivo planteado en el presente trabajo de investigación, las soluciones adoptadas en el diseño, la técnica propuesta y aplicada, tanto en gabinete como en campo, así como el uso de software especializado, técnicas cartográficas y topográficas, fueron las bases para la ejecución de la investigación.

Conclusiones y recomendaciones

En este trabajo se llevó a cabo la comparación de dos métodos para realizar un levantamiento topográfico, los métodos utilizados fueron una GPS RTK y un drone, donde se aprecia cada levantamiento la diferencia de precisión y el tiempo de levantamiento respecto cada método.

Analizando la precisión de canal levantando en el canal pluvial, se logró captar que el método topográfico es más preciso, mientras tanto, en el levantamiento indirectos se obtuvo una precisión menos confiable, los métodos de recolección de datos de cada uno fueron totalmente diferentes, sin embargo, la convencional suele ser más laborioso, pero con alta precisión.

De acuerdo a los resultados obtenidos es una ventaja trabajar con este tipo de levantamiento fotogramétrico principalmente por el tiempo en que se ejecuta desde el inicio hasta el final y con el nivel de detalle, no tiene comparación con respecto al tradicional.

Cabe mencionar que las variaciones de altura juegan un papel muy importante en la precisión y exactitud de los puntos levantados, así mismo, en el tiempo que conlleva dicha realización de vuelo, debido a que, entre más alto sea el vuelo menos tiempo y será menor su precisión, por la captación de áreas extensas con ello más elementos capturados.

La fotogrametría considera que entre menor sea la altura de vuelo será mayor la observación de los detalles y más precisión, aunque se tenga menos cobertura territorial, para un área de estudio extenso se tendría que recorrer con esa visión, si se pretende tener buena precisión.

De acuerdo con Daza (2015) los levantamientos con aeronaves no tripuladas seguirán desarrollándose para ser más exactas, pero en la mejora de tiempo es un gran avance en la precisión está actualizando de igual manera relaciona más información detallada que la convencional. Convencido que en un tiempo cercano se harán más comunes estos levantamientos y serán de menor costo económico y confiables.

Con la experiencia lograda con el drone Mavic 2 pro, tiene muchas ventajas al momento de trabajo con estas tecnologías, una de ellas es la al respecto al tiempo de trabajo cual fue el tema central de investigación otra de las ventajas es que es necesario solo una persona para programar y manipular el levantamiento, la desventaja de esta tecnología es de un costo elevado en optar con el equipo y los programas para el proceso de las imágenes.

se recomienda trabajar con un equipo de mayor significancia, para mayor tiempo de vuelo, así abarcar mayores áreas de trabajo y en la actualidad el Phantom 4 RTK permite más precisión y tiempo de vuelo.

Se recomienda la planificación adecuada para la toma de datos en esta tecnología, el usuario debería planificar muy bien el itinerario, tener muy en cuenta los factores climatológicos, esto de vital importancia al momento de ejecutar el vuelo.

Revisar todas las imágenes obtenidos por el drone, descargar las imágenes del vuelo y limpiar la memoria al terminar para que otro levantamiento no se junten todas las fotos al realizar muchos vuelos en un área de estudio.

Además, uno de los factores de desventaja en momento de ingresar las imágenes al programa Agisoft PhotoScan se recomienda trabajar o procesar como mínimo en el nivel de proceso, al no contar con un procesador especializado, y si cuenta con un procesador más suficiente para trabajar se recomienda con altas para que esto disminuye el error.

Bibliografía

- Agisoft. (2019). Recuperado 13 de noviembre de obtenido de <https://www.agisoft.com/>
- Antichán, M., Morán, J., & Núñez, S. (2009). Sistema de posicionamiento global aplicado al tráfico inteligente para organismos de emergencia. *Télématique*. ISSN: 1856-4194.
- Arias P, B., Cuadrado M, O., Quintanilla, P., Gómez L, j., & Arias, P, B., González A, D. (2014). Calibrating a photogrammetric digital frame sensor using a test field Calibración de una cámara digital matricial empleando un campo de pruebas.
- Arteaga Botello, Nelson (2016). Política de la verticalidad: es, territorio y población en América Latina. *Región y Sociedad*, XXVIII (65), 263-292 ISSN: 1870-3925.
- Bentancur, N. (2012). Aporte para una topografía de las políticas educativas en Uruguay. *Instituciones, ideas y actores*. 29.
- CAD, (2019. Octubre) Diseño asistido por computadora | Autodesk. <https://www.autodesk.mx/solutions/cad-design>.
- Cárdenas, Q. E. A., Morales M, L. Y., & Caycedo, C, A. (2015). La estereoscopia, métodos y aplicaciones en diferentes áreas del conocimiento. *Revista científica general José María Córdova*. <https://doi.org/10.21830/19006586.37>.
- Cartografía II. (2008). Representación del relieve. Escuela técnica superior de ingeniero den topografía, Geodesia y cartografía.
- Casanova, L. (2002). Topografía plana. Universidad de los andes facultad de ingeniería. Departamento de vías. Hecho en depósito de ley. Impreso en Venezuela. ISBN 980-11-0672-7.
- Castellanos, J. (2017). Nom de drones en México: Una revisión de la normativa. Obtenido <https://a21.com.mx/normatividad/2017/10/31/nom-de-drones-en-mexico-una-revision>.
- Constante, M., & André, C. (2019). Desarrollo e implementación de un sistema electrónico para fotogrametría en un drone de ala fija optimizando el consumo de energía. San-Golqui.
- Corredor, D, J, G. (2015). Implementación de modelos de elevación obtenidos mediante topografía convencional y topografía con drones para el diseño geométrico de una vía en rehabilitación sector Tulua- Rio Frio. [Tesis de licenciatura, Universidad Militar Nueva Granada].
- Cuerno, R, C., García H, I., Sánchez, C, A., Carrio, A., & Campoy, p. (2016). Evolución histórica delos vehículos aéreos no tripulados hasta la actualidad. *Historias especializadas (historia de la tecnología)*. Doi:<http://dx.doi.org/10.6036/7781>

- Daza, J. G. C. (2015). Implementación de modelos de elevación obtenidos mediante topografía convencional y topografía con drones para el diseño geométrico de una vía en rehabilitación sector Tuluá – río frío.
- Drone & UAV. (2019, octubre). Mapping plataforma | Dronedeploy recuperado 15 de septiembre de 2019, de <https://www.dronedeploy.com/>
- Drones, DJI. (2019, noviembre). Drones con cámara DJI. <https://www.dji.com/mx/cameras-drones>
- Esteban, H, J, L. (2015). Los drones y sus aplicaciones en la ingeniería civil. Fundación de energía de la comunidad Madrid Depósito legal: M.4519-2015. Impresión Grafica: Arias montano, S.A. (Madrid, España.)
- García, I. G. (2017). Estudio sobre vehículos aéreos no tripulados y sus aplicaciones. Valladolid. recuperado el 19 de septiembre de 2019
- Gayoso, S, C, L. (2018). Levantamiento topográfico realizado con el nivel de ingeniero en el terreno de cultivo a ubicado en el área de la comunidad campesina de lagunas, distrito Mocupe-Chiclayo
- Geoeco. (2019). Sistema GPS Sokkia GRX2. Obtenido de <https://www.geoeco.com.mx/producto-detalle.php?id=169> (recuperado el 11 de 11 de 2019)
- González, L, J, I. (2007). Primeros levantamientos cartográficos generales de Chile con base científica: los mapas de Claudio Gay y Amado Pissis. Revista de Geografía Norte Grande, ISSN: 0379-8682.
- González, Q, W. S. (2017). Diseño y construcción de un vehículo aéreo no tripulado (UAV), del tipo drone cuadricóptero de carreras. Colombia.
- Gutiérrez, P, J, E. (2005). topografía para las tropas, Ingeniero en Geografía. Registro de propiedad intelectual n°149.227.
- Haluani, M. (2014). La tecnología aviónica militar en los conflictos asimétricos: problemáticas implicaciones del uso de los drones letales. cuadernos del cendes.
- Herrera, R. G., Navarrete, J. P. U., Pinto, I. S., Esquivel, R. M., Cabrera, F. A., Moguel, C. z., & Salazar, r. c. (2017). Drones aplicaciones en ingeniería civil y geo ciencias. Inter ciencia.
- INEGI, (2014). Sistema de información geográfica, Sistema de información Geográfica (SIG). <https://www.inegi.org.mx/inegi/spc/doc/internet/sistemainformaciongeografica.pdf>.
- Jaime. (2018, abril). Ventajas e inconvenientes de la fotogrametría con drones. obtenido de <https://dronespain.pro/fotogrametria-con-drones/> (25 de abril de 2018)
- Jáuregui, L. (2018, mayo). Introducción a la topografía. <http://arebalonely.blogspot.com/2018/03/introduccion-la-topografia.html>.

- Kleinschmidt, J. (2015). Drones y el orden legal internacional. tecnología, estrategia y largas cadenas de acción. *Colombia internacional*, 84, 17-42.
<https://doi.org/10.7440/colombiaint84.2015.01>
- López, R, E. (2017). Los drones, la moralidad profunda y las convenciones de la guerra. *Isonomía. Revista de Teoría y Filosofía del Derecho*, ISSN: 1405-0218.
- Márquez, F. G. (1994). *Curso básico de topografía (planimetría, agrimensura, altimetría)*. México: árbol editorial, S.A. de C.V.
- Martínez, Q, R. (2009). *Estadística básica para la topografía. Colecciones manuales uex-66*. Universidad de Extremadura. ISSN 1135-870-X ISBN.
- Mejía, N. K. (2010). *Elaboración de material didáctico para curso on-line: topografía elemental y topografía aplicada*. Loja-Ecuador.
- Molina, P. G. (2018). *Orientación y trazado de recorridos en el medio natural o urbano*. san Millán: tutor formación.
- Navarro H, S, J. (2008) *Topografía-teoría de errores. líder de ciencia y tecnología*.
- Neira R, R, A. (2005). *Fotografía aérea*. Valdivia-Chile. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias de la ingeniería. Escuela de construcción civil.
- Noguera, G., & Mangiaterra, A. (2012). Una alternativa de posicionamiento preciso en tiempo real en regiones de estaciones permanentes poco densas.
- Norma Oficial Mexicana NOM-107-SCT3-2019. (2019, 15 de mayo). Que establece los requerimientos para operar un sistema de aeronave pilotada a distancia (RPAS) en el espacio aéreo mexicano
- Olivera, A. V. (2016). *El mundo de los drones*. Cienciorama. http://www.cienciorama.unam.mx/a/pdf/538_cienciorama.pdf
- Orozco, D, H, Y. (2007). *La topografía en la ingeniería*. Universidad de cauca. Facultad de ingeniería civil. Popayán.
- Ortega, I, R., Sonogo, M., Pulido, J., González, C, A., Jiménez, M, E., & Sordo, L. (2017). Métodos indirectos para la estimación de poblaciones ocultas. *Revista Española de Salud Pública*. ISSN: 1135-5727.
- Perea, A. J., & Meroño, J. E. (2009). Clasificación orientada a objetos en fotografías aéreas digitales para la discriminación de usos del suelo.
- Phantom 4 RTK. (2019, 20 agosto). DJI- Next gen mapping solución—dji oficial.
<https://www.dji.com/mx/phantom-4-RTK>
- Posadas, L.A.I., Kestler S, J, R., Mendoza G, E, J., Canales P, M, E., García R, E, M., & Ochaeta G, H, E. (2012). Análisis comparativo entre un levantamiento catastral en área rural por el método directo e indirecto, Universidad de san Carlos Guatemala.

- Puerta, C, C, A. (2015). Tecnología drones en levantamientos topográficos. Escuela de ingeniero militares, Facultad de ingeniera. Ingeniera civil a distancia. Bogotá.
- Quelca, H. T. (2015). Comparación de resultados obtenidos de un levantamiento topográfico utilizando la fotogrametría con drones al método tradicional. Perú.
- Quirós, E, R. (2014). Introducción a la fotogrametría y Cartografía aplicadas a la ingeniería civil. Universidad de Extremadura. I.S.B.N de méritos. 978-84-697-1317-4.
- Raquel, L, P. (2009). El levantamiento topográfico: Uso del GPS y estación total. surveying: use of GPS and total station.
- Reina, I, Q. (31 de octubre de 2017). NOM de drones en México: una revisión. obtenido de <https://a21.com.mx/normatividad/2017/10/31/nom-de-drones-en-mexico-una-revision>
- Sánchez, V, I, J. (2017). Determinar el grado de confiabilidad del levantamiento topográfico con dron en la plaza san luis-2017, Nuevo Chimbote, Perú.
- Sedano, M, F, D., & Parí, R, R, W. (2018). Ventajas en los levantamientos topográficos con el uso de los Vehículos Aéreos no Tripulados (UAV), Lima, Perú.
- Soledad, C, S. (2015). Modelos digitales del terreno mediante fotogrametría aérea realizada con un vehículo aéreo no tripulado [Tesis de licenciatura, T.S.I. de Minas y Energía (UPM)]. Departamento Energía y Combustibles
- Soto, J. (2010). Plataforma de geolocalización de centros de salud con tecnología móvil implementando el protocolo de comunicación HL7. Télématique ISSN: 1856-4194.
- Torrado, J, O, E., Jiménez, J, J, C., & Díaz, H, P. (2016). Orto mosaicos y modelos digitales de elevación generados a partir de imágenes tomadas con sistemas UAV.
- Vega, O, R (2016). Los estudios hidrográficos de México en el Diccionario Universal de Historia y Geografía, 1853-1856. Intersticios Sociales.
- Wolf, G., Ruiz, E., Bergero, F., & Meza, E. (2015) Fundamentos de sistemas operativos. Primera edición. – México D.F. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Económicas: Facultad de Ingeniería, 2015.
- Zelaya, C.G.A., Pacas C. R. A., A. E., Nelson, R. (2016). aplicación de fotogrametría aérea en levantamientos topográficos mediante el uso de vehículos aéreos no tripulados. San Miguel, El Salvador.