

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD TECNOLÓGICA
CARRERA DE GEODESIA TOPOGRAFIA Y GEOMATICA



**EVALUACIÓN DE PRECISIONES DE GEORREFERENCIACIÓN DE
PRODUCTOS FOTOGRAMÉTRICOS CON DRON; APLICANDO
DIFERENTES CANTIDADES DE PUNTOS DE CONTROL TERRESTRE.**

POSTULANTE: LIC. SARAH JUANA TITO LOZA

TUTOR: MSC. ING. SAUL RAMOS PEREDO

LA PAZ – BOLIVIA

2019

DEDICATORIA

Dedico la presente tesis a mi querida familia que siempre estuvo apoyándome mi Mama Olga Thola, mi esposo David Rivera e hijo Santiago y mi Mama Victoria Loza que más que un esfuerzo propio fue un esfuerzo conjunto donde siempre estuvieron ahí en cada momento de la generación de la presente tesis.

AGRADECIMIENTO

Agradezco de corazón a dios padre por guiar mi vida y la de las personas que amo agradezco profundamente los caminos que traza para cada uno de nosotros.

También agradezco a mi carrera topografía y geodesia que dio inicio a mi vida profesional me fue forjando y los conocimientos brindados en la maestría del centro de investigaciones y aplicaciones geomaticas por brindarme mayores herramientas no solo para un trabajo sino para desempeñarnos en la vida profesional de manera más eficiente.

INDICE DE CONTENIDO

	Página
CAPÍTULO I	1
1. ANTECEDENTES	1
1.1.INTRODUCCIÓN	1
1.2.ANTECEDENTES	1
1.3.ALCANCES.....	2
1.3.1. ALCANCE TEMÁTICO.....	2
1.3.2. ALCANCE TEMPORAL	2
1.3.3. ALCANCE GEOGRÁFICO	2
1.4.JUSTIFICACIÓN	3
1.4.1. IMPORTANCIA ACADÉMICA.....	3
1.4.2. IMPORTANCIA SOCIAL.....	3
1.4.3. IMPORTANCIA LOCAL	3
1.4.4. IMPORTANCIA NACIONAL	3
1.5.PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.5.1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	4
1.5.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	4
1.6.HIPÓTESIS.....	4
1.6.1.HIPÓTESIS DE NULA.....	4
1.6.2.HIPÓTESIS ALTERNATIVA.....	4
1.7.OBJETIVOS.....	5
1.7.1.OBJETIVO GENERAL	5
1.7.2.OBJETIVO ESPECÍFICOS	5
CAPITULO II	6
2. MARCO TEORICO	6
2.1.TIPOS DE SUPERFICIES	6

2.1.1. SUPERFICIE TOPOGRÁFICA	6
2.1.2. SUPERFICIE FÍSICA	6
2.1.3. SUPERFICIE MATEMÁTICA	6
2.1.4. ALTURA ELIPSOIDAL	7
2.1.5. ALTURA ORTOMÉTRICA	7
2.1.6. ONDULACIÓN GEOIDAL	8
2.2.SISTEMA GLOBAL DE NAVEGACIÓN POR SATÉLITE GNSS.....	8
2.3.SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (GPS)	9
2.4 CLASIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS GPS SEGÚN SU FRECUENCIA	10
2.4.1. RECEPTORES GPS MONOFRECUENCIA DE CÓDIGO Y FASE	11
2.4.2. GPS DE DOBLE FRECUENCIA, CÓDIGO Y FASE	12
2.5.FOTOGRAMETRÍA.....	13
2.5.1. GENERALIDADES DE LA FOTOGRAMETRÍA	16
2.5.2. ORIENTACIÓN INTERNA.....	17
2.5.3. ORIENTACIÓN EXTERNA	18
2.5.4. CORRELACIÓN DE IMÁGENES	19
2.5.5. CONCEPTOS BÁSICOS DE FOTOGRAFÍA.....	20
2.5.5.1. RESOLUCIONES.....	21
2.5.5.2. IMÁGENES FOTOGRAMÉTRICAS DIGITALES	21
2.5.5.3. RESOLUCIÓN EN IMÁGENES DIGITALES	22
2.6.DRON VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO (UAV) O DRON.....	23
2.6.1. USOS DEL DRON.....	25
2.7.1. TIPOS DE DRON	27
2.7.1.2. ALA FIJA	28
2.7.1.3. MULTIRROTORES	29
2.7.2. PROGRAMA DE PROCESAMIENTO DE IMÁGENES DE DRON.....	29
2.7.3. VUELO FOTOGRAMÉTRICO CON DRON.....	30
2.7.3.2. PLANEACIÓN DE VUELO.....	31
2.7.3.4. SOBREPOSICIÓN DE IMÁGENES.....	32
2.7.4. SISTEMAS DE REFERENCIA (WGS-84).....	33

2.7.5. PROYECCIÓN CARTOGRÁFICA.....	34
CAPÍTULO III.....	35
3.MARCO METODOLÓGICO	35
3.7.TRABAJO DE CAMPO.....	35
3.7.1.DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	35
3.7.2.ASPECTOS GENERALES DEL AREA DE ESTUDIO	36
3.7.3.INSTRUMENTOS.....	37
3.7.4.LOGÍSTICA	38
3.8.DESARROLLO DEL TRABAJO DE CAMPO	38
3.8.1.RECONOCIMIENTO DEL ÁREA DE ESTUDIO	38
3.8.2.ESTABLECIMIENTOS DE PUNTOS DE CONTROL TERRESTRE (GCP) ...	39
3.8.3.GENERACION DE UN PLAN DE VUELO	45
3.8.4.VUELO DE DRON.....	48
3.8.5.PROCESAMIENTO DE IMÁGENES DE DRON	49
CAPITULO IV.....	56
4.GENERACION RESULTADOS Y DISCUSION.....	56
4.7.ORTOMOSAICO.....	56
4.8.MODELO DIGITAL DE SUPERFICIE (DSM).....	57
4.9.MODELO DIGITAL DE TERRENO (DTM)	59
4.10.INFORME DE AJUSTES	59
CAPITULO V.....	64
5.CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	64
5.7.CONCLUSIONES.....	64
5.8.RECOMENDACIONES	65
CAPITULO VII.....	66
7. BIBLIOGRAFIA	66

INDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Tipos de superficies	7
Figura 2. Tipos de Alturas	8
Figura 3. Distancia de separación de satélites	10
Figura 4. Esquema de receptores	11
Figura 5. GPS. south galaxy GL.....	12
Figura 7. Reflectancia de diferentes tipos de elementos.....	15
Figura 8. Objeto 3D con puntos de control	16
Figura 9. Orientación interna.....	17
Figura 10. Puntos homólogos.....	19
Figura 11. Matriz de 3x3.....	20
Figura 12. Generación de matrices de diferentes tipos de elementos.....	22
Figura 13. Resoluciones Geométricas	22
Figura 14. Northrop falconer.....	24
Figura 15. Identificación de cultivos con cámara multiespectral	25
Figura 16. Drones bomberos.....	26
Figura 17. Dron para la policía boliviana.....	26
Figura 18. Dron en una Speeder Bike, en la moto de la Guerra de las Galaxias	27
Figura 19. Dron de ala fija	28
Figura 20. Dron Multirroto Phantom 4 Pro	29
Figura 21. Flujo de trabajo.....	30
Figura 22. La altitud afecta la distancia de la muestra del suelo.....	32
Figura 23. Traslapes y tamaño de fotografías	33

Figura 24. Área de investigación en el municipio de sacaba	35
Figura 25. Área de estudio de la localidad de pucara	36
Figura 26 Cultivos de Arvejas.....	37
Figura 27 Equipos utilizados en campo	37
Figura 28 Área de estudio localidad Pucara con una imagen satelital Aster 2013 (NASA) 39	
Figura 29 Marco de Referencia Geodésico Nacional (MARGEN) de Bolivia.....	40
Figura 30 Monografía del punto IGM	41
Figura 31 Densificación de puntos	42
Figura 32 Identificación de Puntos	43
Figura 33 Puntos de control terrestre distribuidos en el área de estudio	44
Figura 34 Parámetros del plan de vuelo con DroneDeploy	46
Figura 35 Plan de vuelo con drondeploy.....	47
Figura 36 Vuelo de dron en el área de estudio.....	48
Figura 37 Inicialización de dron2map	49
Figura 38 Imágenes de Dron cargadas en Drone2Map	50
Figura 39. Shape de puntos identificando las imágenes de dron	50
Figura 40 Importar de puntos de control terrestre	51
Figura 41 Ventana para importar puntos de control terrestre.....	52
Figura 42. Puntos de control visualizados	52
Figura 43. Identificación de punto de control terrestre	53
Figura 44. Marcas de enlace en las imágenes de dron.....	54
Figura 45. Barra superior de Dron2Map	54
Figura 46. Procesamiento de las imágenes de dron	55
Figura 47. Ortomosaico	56
Figura 48. Resolución en centímetros	57

Figura 49. Modelo digital de superficie	58
Figura 50. Modelo digital de terreno.....	59
Figura 51 Reporte de procesamiento.....	60

INDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1: Puntos de control.....	45
Tabla 2: Cinco puntos de control.....	61
Tabla 3: Diez puntos de control.....	62
Tabla 4: Quince puntos de control	62
Tabla 5: Comparacion de Resultados.....	63

INDICE DE ANEXOS

ANEXO A.....	REPORTE PROCESO DRON 5 PUNTOS DE CONTROL
ANEXO B.....	REPORTE PROCESO DRON 10 PUNTOS DE CONTROL
ANEXO C.....	REPORTE PROCESO DRON 15 PUNTOS DE CONTROL
ANEXO D.....	ORTOMOSAICO
ANEXO E.....	MODELO DIGITAL DE SUPERFICIE
ANEXO F.....	MODELO DIGITAL DEL TERRENO

RESUMEN

En la actualidad, la tecnología de los drones está siendo utilizado en diferentes áreas, pero es limitada la información respecto a las precisiones de georreferenciación, misma que los usuarios desconocen; por ende, es importante aclarar la importancia de la misma.

En realidad, la investigación efectuada busca responder ¿cuál es la precisión de georreferenciación de productos fotogramétricos con dron y si el número de puntos de control influye en dicha precisión?

Estableciendo un resultado previo de la investigación, la utilización de más puntos de control terrestre, influye en la precisión de georreferenciación, pero también es importante tomar en cuenta la topografía del área de estudio y la distribución de los puntos de control terrestre.

La precisión de la georreferenciación depende de la cantidad de puntos de control terrestre, ya que esto hace que varíe la precisión respecto a la muestra del área de estudio.

PALABRAS CLAVE: Dron, precisión, georreferenciación y puntos de control terrestre.

CAPÍTULO I

1. ANTECEDENTES

1.1. INTRODUCCIÓN

Los nuevos avances de la tecnología nos brindan los Sistemas Aéreos remotamente pilotados (RPAS en sus siglas en inglés), popularmente conocidos como dron, en los últimos años, se han convertido en unas herramientas de obtención de información muy útil y eficaz que ahorra tiempo, reduce los costes y genera resultados muy satisfactorios.

El uso del dron en trabajos de Topografía y cartografía es una tendencia consolidada, el dron es una herramienta que se integran perfectamente en los flujos de trabajo más habituales entre los profesionales de la Topografía.

En la práctica, un dron y el programa que lo apoya son el equivalente a un nuevo dispositivo de medida con características mejoradas. El dron es un complemento a la Topografía tradicional de la misma forma que una estación total mejora las prestaciones de herramientas menos sofisticadas. El dron y la fotogrametría, dan acceso a nuevas funcionalidades, tiempos de respuesta más cortos y reducen costes de forma significativa.

La fotogrametría clásica para la restitución de las fotografías aéreas depende del número de puntos de control con relación a la ondulación terrestre para verificar su precisión en ese caso específico mientras más puntos de control terrestre dependerán del terreno. Pero en el caso del dron con respecto a su procesamiento de imágenes con puntos de control terrestre se estima que el resultado no varía de manera tan significativa por tanto se convertirían en una herramienta útil con alta precisión para los profesionales del área y ramas afines.

Estos aportes a la Topografía, no implican ni mucho menos la preocupación de algunos profesionales, de que el dron va a reemplazar su trabajo de campo. Contrariamente, el dron realiza nuevos aportes laborales, que al igual que el GPS de precisión, las Estaciones Totales enriquecerán su patrimonio profesional y aumentarán sus niveles de conocimiento.

1.2. ANTECEDENTES

Al momento de realizar un vuelo de dron se debe tomar atención a los resultados y la validación de los mismos, tomando en cuenta que la adquisición de imágenes y el proceso de ajuste de las imágenes de dron deben realizarse con puntos de control terrestre, será un

gran apoyo para el campo de la Topografía para dar fuerza y lograr que las imágenes de dron sean más utilizadas para nuestro medio.

Tradicionalmente la obtención de información de la superficie terrestre se ha realizado mediante fotografías aéreas es similar a las imágenes de dron con la diferencia que es un vehículo aéreo no tripulado o dron el cual puede adquirir las imágenes de gran resolución espacial en menor tiempo.

Al llegar a una nueva década podemos ver la necesidad de nuevos insumos de mayor precisión y menor costo por lo que este insumo (imágenes de dron), son más accesibles y utilizados por gran parte de la población en general.

En la actualidad es importante obtener confiabilidad de las imágenes de dron para que no exista la duda respecto al empleo de las mismas lo cual es un gran apoyo en la recopilación de información en lugares donde se presenta una Topografía muy accidentada o en lugares donde ocurren desastres naturales.

1.3. ALCANCES

1.3.1. ALCANCE TEMÁTICO

Se tuvo como base la fotogrametría por la utilización de imágenes de dron y su respectivo empleo, la mencionada rama está encargada del estudio de la interpretación de las fotografías aéreas.

1.3.2. ALCANCE TEMPORAL

Se realizó el establecimiento de puntos de control terrestre en fecha junio 2019, se debe resaltar la utilización de imágenes de dron que son tomadas en la misma fecha y la presentación de los resultados hasta el mes de agosto.

1.3.3. ALCANCE GEOGRÁFICO

El área de estudio se encuentra en el departamento de Cochabamba, provincia del Sacaba, municipio de Sacaba distrito 2 Comunidad Pucara. La comunidad de estudio se encuentra cerca de un abanico aluvial.

1.4. JUSTIFICACIÓN

1.4.1. IMPORTANCIA ACADÉMICA

Aplicar los conocimientos adquiridos durante la formación académica, emplearlas de manera práctica (trabajos de campo), y en trabajos de oficina (trabajos de gabinete), para lograr el mejor desempeño en el ámbito profesional, como así mismo el uso adecuado de los instrumentos propios de la Topografía y geodesia.

La finalidad del proyecto es la realización de un vuelo con dron y con el apoyo de equipos GPS de precisión el establecimiento de puntos de control, de esta manera tener otra opción a los métodos clásicos de obtención de información del terreno, dado que en la actualidad no se aprovecha debidamente el potencial del dron, limitándolos solo en el campo del entretenimiento, sin considerar que también pueden ser empleados en otros tipos de trabajos.

Es importante rescatar, la necesidad de la evaluación de la precisión de los productos fotogramétricos para emplearlos en el ámbito laboral. Este hecho tiene gran importancia para la vida profesional innovando respecto a equipos topográficos.

1.4.2. IMPORTANCIA SOCIAL

En lo social el proyecto beneficiará en gran manera a los profesionales en general, porque logramos un nuevo instrumento de obtención de información geográfica lo cual beneficia a la sociedad en general por la reducción de tiempo y presupuestos como en la minería en la prospección a cielo abierto. Apoyando a la mejor generación de productos topográficos en general evitando accidentes personales en lugares peligrosos.

1.4.3. IMPORTANCIA LOCAL

Debido a que la localidad Pucara pretende realizar el catastro de la misma aprovechando las imágenes de alta resolución del dron se podrá identificar las construcciones, nuevas edificaciones y terrenos baldíos, como la localidad se encuentra en un área semiurbana se obtendrá un mejor catastro y por ende se logrará un mejor ordenamiento territorial.

1.4.4. IMPORTANCIA NACIONAL

Con lo que respecta a la importancia nacional el apoyo a la generación de mejores productos topográficos, obtención de imágenes de alta resolución y otros subproductos

(identificación de plagas en cultivos, cultivos clandestinos, auxilio a las personas en eventos de desastres naturales, entre otros productos), se aprovechara de gran manera a los diferentes tipos de dron por toda la población y el estado plurinacional de Bolivia en general.

1.5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En los avances de la tecnología, no se logra cumplir con todo lo requerido respecto a actualización de programa y tecnología innovadora (dron) lo cual deja un paso importante subvalorado, el cual es la verificación de los resultados y requisitos de los diferentes programas que se emplea para el procesamiento de imágenes de dron.

1.5.1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

En la actualidad los nuevos equipos tecnológicos como es el dron inicialmente se devalúa el valor de los mismos y sus productos por no ser reconocidos y empleados adecuadamente siendo los mismos un adelanto tecnológico el cual brinda varias posibilidades de empleo en la Topografía.

Apoyado en los nuevos adelantos tecnológicos podemos resaltar la necesidad de conocer la precisión de georreferenciación de los productos que nos brinda el dron para emplearlos en nuestra vida profesional de manera que logremos precisiones requeridas según el proyecto que se realiza en la topografía.

1.5.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Evaluar la precisión de georreferenciación en los productos fotogramétricos con dron?

1.6. HIPÓTESIS

1.6.1. HIPÓTESIS DE NULA

La precisión de la georreferenciación de los productos de dron depende de la cantidad de puntos de control terrestre.

1.6.2. HIPÓTESIS ALTERNATIVA

La precisión de la georreferenciación de los productos de dron no depende de la cantidad de puntos de control terrestre.

1.7. OBJETIVOS

1.7.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la precisión de la georreferenciación de productos fotogramétricos con dron; aplicando diferentes cantidades de puntos de control terrestre.

1.7.2. OBJETIVO ESPECÍFICOS

- Establecer puntos de control terrestre para el vuelo fotogramétrico con dron.
- Generar el ajuste de las imágenes de dron con diferentes cantidades de puntos de control terrestre.
- Realizar una comparación de los resultados del procesamiento de imágenes de dron con diferentes cantidades de puntos de control terrestre.
- Analizar la precisión de la georreferenciación de los productos fotogramétricos (DTM, DSM y ortomosaico).

CAPITULO II

2. MARCO TEORICO

2.1. TIPOS DE SUPERFICIES

2.1.1. SUPERFICIE TOPOGRÁFICA

La superficie topográfica es la superficie real de la Tierra, para poder representarla es necesario referirla a algún modelo matemático, de estos modelos se generan las cartas y mapas, desarrollados por la cartografía. Está constituida materialmente por el terreno, el cual es de forma muy irregular, sobre esta superficie se realizan todas las mediciones y observaciones geodésicas y topográficas.

2.1.2. SUPERFICIE FÍSICA

Es el Geoide, es la superficie de nivel, que coincide con la superficie del mar en condiciones ideales de quietud de los océanos, la cual se prolonga por debajo de los continentes y cubre a la Tierra en su totalidad, el geoide es la figura del nivel medio del mar, además en todos sus puntos es perpendicular a la línea de plomada o dirección de la gravedad. El geoide es un modelo físico que busca representar la verdadera forma de la Tierra calculándola como una superficie del campo de gravedad con potencial constante y es utilizada como referencia para determinar la elevación del terreno, obtenida por nivelación geométrica o trigonométrica.

2.1.3. SUPERFICIE MATEMÁTICA

El elipsoide es una figura tridimensional que se adapta mejor al geoide, es una superficie sin irregularidades que podemos modelizar con ecuaciones matemáticas, el elipsoide es una superficie de revolución que se obtiene a partir de la elipse cuando rota sobre su eje menor. (Introducción a los sistemas de información geográfica y goetematica: Antonio Pérez Navarro, 2005)

La superficie del elipsoide de revoluciones que mejor se adapte al geoide, la superficie física de la tierra es en extremo compleja, por lo que emplearla en la solución matemática de los problemas geodésicos resulta imposible. Por este motivo para la solución matemática de los problemas geodésicos se emplea la superficie del elipsoide.

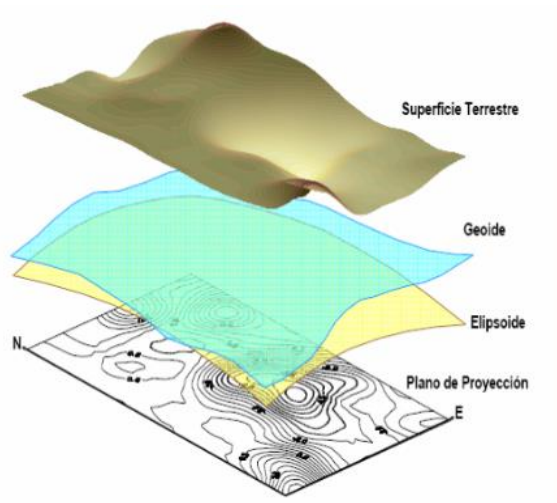


Figura 1. Tipos de superficies

Fuente: www.GeodesiaBasica.com

2.1.4. ALTURA ELIPSOIDAL

Es la distancia entre la superficie del elipsoide y el punto de medición sobre la superficie topográfica terrestre y se mide por la normal al elipsoide designándose con la letra h (altura elipsoidal). Esta es calculada a partir de coordenadas geocéntricas cartesianas definidas sobre un elipsoide de referencia.

2.1.5. ALTURA ORTOMÉTRICA

Esta es la altura que existe entre la superficie topográfica y el geoide siendo perpendicular a este último se designa con la letra H . Pero lo que será necesario conocer la gravedad verdadera entre el punto evaluado y el geoide.

La gravedad medida en la superficie topográfica es la gravedad real y la verdadera se encuentra referida al geoide, es aquí donde surge el inconveniente de cómo medirla siguiendo la vertical en el punto observado. Existen algunos modelos de cómo poder calcularla a través de modelos geofísicos y aplicar reducciones para trasladar la gravedad al geoide.

Las alturas ortométricas se pueden calcular a partir de las elipsoidales:

Donde:

$$H = h - N$$

H = Altura Ortometrica

h = Altura Elipsoidal

N = Ondulacion Geoidal

2.1.6. ONDULACIÓN GEOIDAL

Es la diferencia que existe entre la altura elipsoidal (h) y la altura ortométrica (H), se conoce como ondulación geoidal (N). Gracias a esta variante se puede describir el irregular comportamiento del geoide. Conociendo la ondulación geoidal se puede calcular la altura ortométrica o altura sobre el nivel del mar de algún punto de observación, en particular todo esto a partir del valor de la altura sobre el elipsoide que nos proporciona un equipo GPS.

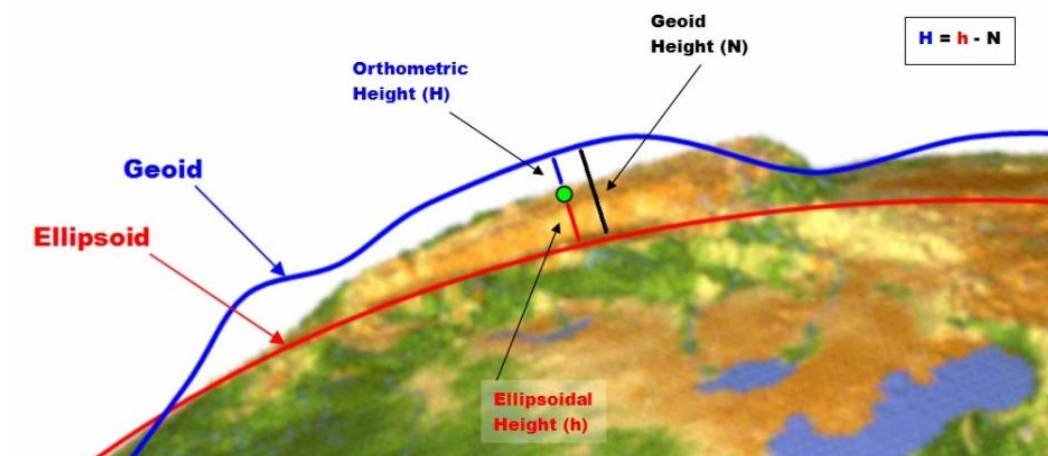


Figura 2. Tipos de Alturas

Fuente: www.eos-gnss.co

2.2. SISTEMA GLOBAL DE NAVEGACIÓN POR SATÉLITE GNSS

El Sistema Global de Navegación por Satélite GNSS es un conjunto de sistemas pasivos de navegación basados en satélites emisores de radiofrecuencia, que proporcionan un marco de referencia espacio-temporal con cobertura global, independiente de las condiciones atmosféricas, de forma continua en cualquier lugar de la tierra y disponible para cualquier número de usuarios.

2.3. SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (GPS)

El Sistema de Posicionamiento Global (GPS) permite obtener sobre la superficie topográfica coordenadas geodésicas (δ , λ , h), referidas a un sistema de referencia geocéntrico conformado en este caso por un elipsoide de revolución.

El sistema NAVSTAR GPS, consta de una determinada cantidad de satélites que orbitan alrededor de la Tierra, emitiendo constantemente señales de onda electromagnética en la banda L¹ de la radiofrecuencia, en esta banda se encuentran las frecuencias de las fases portadoras de las bandas L1 y L2 transmitidas por los satélites GPS.

Estos satélites poseen coordenadas conocidas en un sistema de ejes ortogonales cartesianos X, Y, Z, cuyo centro pretende estar ubicado en el centro de masa de la Tierra y sus ejes orientados de tal manera que el X este orientando al meridiano origen de las longitudes, el Z próximo al eje de rotación (eje de los polos) y el Y perpendicular a ambos. (GPS posicionamiento satelital: Eduardo Huerta, Aldo Mangiaterra, Gustavo Noruega: 2010)

Esto lleva a la conclusión de que este sistema gira solidariamente con la Tierra de estas coordenadas rectangulares se puede pasar fácilmente a las coordenadas geodésicas antes enunciadas referidas a esa superficie geométrica que mejor representa la forma de la Tierra denominada elipsoide de revolución. Este, consta de dos parámetros fundamentales a y f (semieje mayor y achatamiento respectivamente) y se ubica de tal manera que, el semieje menor coincide con el eje Z y el semieje mayor con el ecuador.

De todo esto se deduce que, se vinculan de alguna manera a estos satélites, se podrían obtener coordenadas del punto donde se encuentra el equipo GPS, referido al mismo sistema en el que se hallan los primeros.

Esa manera de vincularse se puede realizar conociendo la distancia que separa al satélite del punto en cuestión, ya que:

x_0, y_0, z_0 Son las coordenadas del punto desconocido

Dónde: D = Distancia de separación del satélite a un punto sobre la tierra x, y, z son las coordenadas del satélite.

¹ Banda L*: Banda de frecuencia de radio que se extiende desde los 390 Mhz hasta los 1550 Mhz

$$D = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2}$$

Figura 3. Distancia de separación de satélites

Fuente: <http://www.leica-geosystems.com>

Como se dijo anteriormente estos, satélites emiten ondas electromagnéticas, que viajan a la velocidad de la luz (299.792,5 km/seg), por lo que si se pudiera medir el tiempo que tardan en llegar al lugar de medición, se encontrarán en condiciones de determinar esa distancia.

De esto se encargan los receptores GPS, diseñados además para recibirlos de un satélite, como se aprecia en la fórmula, se deberían observar por lo menos tres.

Las ondas electromagnéticas emitidas (L1 y L2), son portadoras de distintos códigos de modulación. El código C/A, que significa adquisición rápida, el código P que significa preciso y el mensaje de navegación que contiene información de importancia como, por ejemplo, las coordenadas de los satélites llamadas también efemérides*. El código P y el mensaje de navegación se encuentran en ambas portadoras L1 y L2, mientras que el código C/A lo hace solamente en la portadora L1.

Estos dos códigos C/A y P, fueron diseñados para que el receptor pudiera determinar el tiempo transcurrido en la propagación de la señal desde que partió del satélite hasta que llegó a su antena. Esta labor la realiza comparando desfases entre el código emitido por el satélite y uno igual generado por él, en el mismo momento, cuenta con un oscilador interno (cuarzo) que así lo permite. De todos modos, éste último es mucho más impreciso que el que posee el satélite (atómico), lo cual conduce a una falencia en la sincronización que a su vez genera una nueva incógnita.

Esta nueva incógnita provoca que la cantidad mínima de satélites a recibir para determinar las pseudodistancias que permitan obtener las coordenadas del punto en un instante, tenga que ser de 4. Se llama así (pseudodistancia) a la distancia medida receptor-satélite debido a los errores de observación que posee (reloj, propagación, orbitales, etc.).

2.4. CLASIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS GPS SEGÚN SU FRECUENCIA

Si clasificamos a los receptores GPS en función del observable que emplean para determinar la posición de un punto, distinguiremos entre receptores de medida de

pseudodistancias (código), que son los navegadores, y los receptores de medida de pseudodistancias y fase (receptores topográficos y geodésicos). Como ser receptores de simple frecuencia L1 y las que registran conjuntamente las frecuencias L1 y L2 receptores de doble frecuencia (Bifrecuencia).

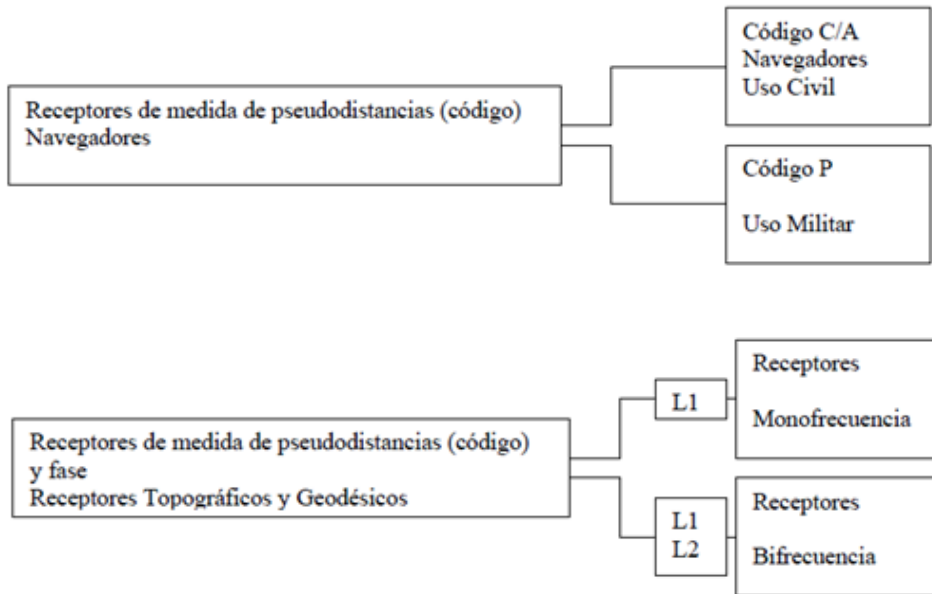


Figura 4. Esquema de receptores

Fuente: <http://www.leica-geosystems.com>

2.4.1. RECEPTORES GPS MONOFRECUENCIA DE CÓDIGO Y FASE

Estos receptores toman datos de la portadora L1 en sus dos modalidades código C/A y fase. Son equipos que trabajan en modo diferencial en tiempo real y en diferido (post-proceso). Precisión de posicionamiento: Encuestas estáticas GNSS Horizontal: ± 2.5 mm + 0.5 ppm Vertical: ± 5 mm + 0.5 ppm y Levantamiento cinemático en tiempo real (Línea de base <30 km) Horizontal: ± 8 mm + 1 ppm y Vertical: ± 15 mm + 1 ppm y Tiempo de inicialización de RTK: 2~8s.



Figura 5. GPS. south galaxy GL

Fuente: https://multitop.bo/Gps_diferencial_galaxy_g1_south_min.pdf

2.4.2. GPS DE DOBLE FRECUENCIA, CÓDIGO Y FASE

Son los equipos de mayor precisión, y se utilizan en aplicaciones Topográficas y Geodésicas. Toman observables de las dos portadoras emitidas por los satélites, realizando medidas de código C/A y P en L1, de código P y L2, y medidas de fase en L1 y L2. Trabajan en tiempo real o en post proceso alcanzando precisiones del orden de 5 mm.+1 ppm y disminuyendo los tiempos de observación.

Se utilizan en redes topográficas y geodésicas, redes de control de deformaciones y control fotogramétrico, con tiempos de observación más cortos que en el caso anterior y longitudes de líneas base mayores de 20 km.

A continuación, se tiene un cuadro comparativo de los diversos tipos de receptores GPS:

METODO	FRECUENCIA	OBSERVABLES	PRECISION	APLICACIONES
ABSOLUTO	L1	COD.C/A	+ / - 3 m – 5 m	NAVEGACION
DIFERENCIAL	L1	COD.C/A	20 cm	CARTO/GIS
DIFERENCIAL	L1	C/A Y FASE	1cm + 2ppm	TOPOGRAFIA
DIFERENCIAL	L1 Y L2	C/A, P, FASE	5mm + 1ppm	TOPO/GEO

Tabla N°1. Código de Fase

Fuente: www.Trimble.com

2.5. FOTOGRAMETRÍA

Etimológicamente, la palabra fotogrametría procede de “photon-luz, graphos-escrita, metron-medidas”, es decir, métrica de lo escrito con la luz.

Una definición admitida enuncia que:

“Fotogrametría es la ciencia y tecnología para obtener información fiable a través de imágenes adquiridas por sensores remotos. El carácter científico se debe a que involucra métodos científicos para el estudio de los procesos de captación de la energía electromagnética y análisis de los registros de la misma. El carácter tecnológico viene dado por el hecho de que aporta una metodología que introduce procesos más rápidos y eficaces para los usuarios. La fiabilidad de la información procesada se apoya en el propio proceso de explotación de geometría de las imágenes” (Introducción a la fotogrametría digital- David Hernández López)

Una definición de imágenes ópticas:

“Una reproducción aparente de un objeto, formado por un sistema de lentes o espejos, a partir de ondas luminosas reflejadas, refractadas o difractadas” (Enciclopedia Británica - 2001)

La definición anterior es válida tanto para las imágenes fotográficas convencionales, obtenidas a partir del rango visible del espectro electromagnético (0,4 a 0,7 μm), como para imágenes obtenidas con sensores capaces de captar información en otros rangos del espectro electromagnético.

Entenderemos por sensor remoto como:

“Cualquier equipo capaz de transformar alguna forma de energía en una señal a partir de la cual se pueda obtener información de objetos sin contacto físico entre el sensor y los mismos. El ejemplo más sencillo de este tipo de sensor es la cámara fotográfica analógica. También entran en esta categoría diferentes tipos de cámaras digitales y sensores de barrido, que utilizan detectores CCD (Charge Coupled Devices - Dispositivos de carga acoplada) para convertir energía electromagnética en energía eléctrica.” (Introducción a la fotogrametría digital- David Hernández López)

Los sensores utilizados en fotogrametría detectan y registran radiación electromagnética. La radiación se caracteriza por viajar a la velocidad de la luz (300 000 km/s) y poseer dos campos asociados: un campo eléctrico y un campo magnético, perpendiculares entre sí y que varían sinusoidalmente.

La radiación electromagnética presenta la denominada dualidad onda-partícula, ya que además de poder ser considerada como una onda, se puede considerar como un flujo de paquetes de energía denominados fotones.

Esta radiación, vista como una onda, posee un espectro de períodos de onda y, consecuentemente, de frecuencia distintos. Como ejemplos se encuentra la luz visible, la región del infrarrojo, del ultravioleta, entre tantas otras.

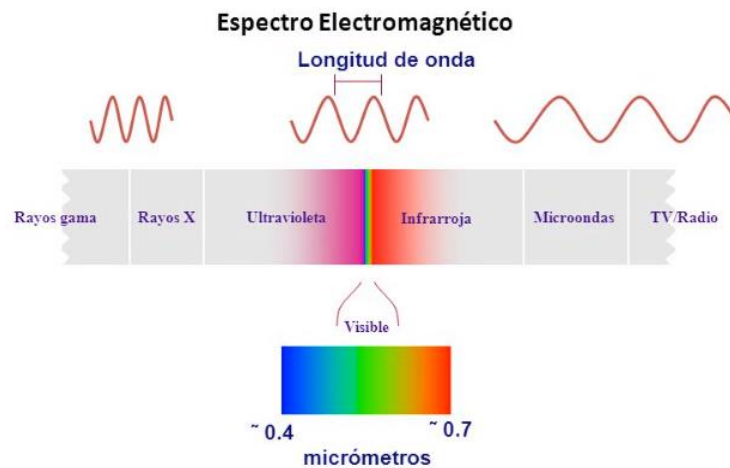


Figura 6. Espectro electromagnético con una franja de luz

Fuente: slideplayer.es/slide/3188258/

Una cámara fotográfica estándar y clásica, es un sensor que capta y registra sólo la pequeña parte del espectro electromagnético correspondiente al visible. Ésta se ubica aproximadamente en una longitud de onda de entre 400 nm y 700 nm. (Lo mismo podríamos decir del ojo humano).

Los cuerpos responden a la energía electromagnética que reciben de tres maneras básicas: absorbiéndola, transmitiéndola, o reflejándola, de manera selectiva con respecto a la longitud de onda.

A fines de este trabajo y de la fotografía, fotogrametría, teledetección, etc., interesa principalmente la energía que refleja un cuerpo, al apoyarse en la captación mediante sensores CCD de la energía reflejada por los cuerpos de la superficie terrestre.

La reflexión puede ser de dos tipos: especular o difusa. En la reflexión especular, toda la energía se refleja en una sola dirección, mientras que en la difusa se refleja uniformemente en todas las direcciones. Esto depende de la rugosidad que presente la superficie en cuestión.

Entonces, como resumen, cada cuerpo emite y refleja una radiación diferente en función de su naturaleza y de la luz que incide sobre él. Gracias a esto se aprecia el color de los objetos, de forma que se verá verde si emite y/o refleja radiación en esa banda del espectro visible. Para cada cuerpo se puede obtener su patrón de respuesta espectral o firma espectral, utilizada en varios procesos de teledetección.

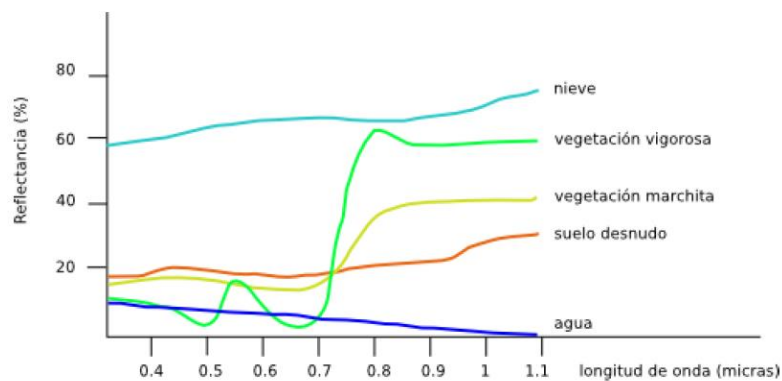


Figura 7. Reflectancia de diferentes tipos de elementos

Fuente: <http://www.gaiaciencia.com/2016/11/gleamoscope>

Vemos en este ejemplo, que la vegetación vigorosa tiene un pico pequeño de reflectancia en el visible en una longitud de onda que corresponde al color verde, lo que explica porque la vemos de ese color. Sin embargo, es más notorio aún que tiene un pico mucho mayor en el infrarrojo cercano, entonces será aún más fácil de detectar la vegetación vigorosa con un sensor que detecte esa parte del espectro, invisible para el ojo humano

2.5.1. GENERALIDADES DE LA FOTOGRAMETRÍA

Al disponer de dos (o más), fotografías del mismo objeto tomadas desde puntos de vista significativamente diferentes, se obtiene de forma sencilla coordenadas tridimensionales de cualquier punto del objeto presente en las dos imágenes. El objetivo principal de la fotogrametría es la reconstrucción de un espacio tridimensional, denominado espacio objeto, a partir de imágenes bidimensionales, que constituyen el espacio imagen. En cada una de las imágenes del espacio imagen se definirá un sistema de coordenadas bidimensional (sistema de referencia imagen), mientras que en el espacio objeto se definirá un sistema de coordenadas tridimensional (sistema de referencia objeto).

La correcta definición de los sistemas de referencia imagen pasa por recuperar la geometría de cada una de las tomas fotogramétricas, este proceso se conoce como orientación interna.

La transformación de los sistemas de referencia imagen al sistema de referencia objeto se conoce como orientación externa y se realizará a partir de un conjunto de puntos, puntos de control, de posición conocida en el sistema de referencia objeto y que aparecen en las dos imágenes, tal y como se observa en la figura siguiente.

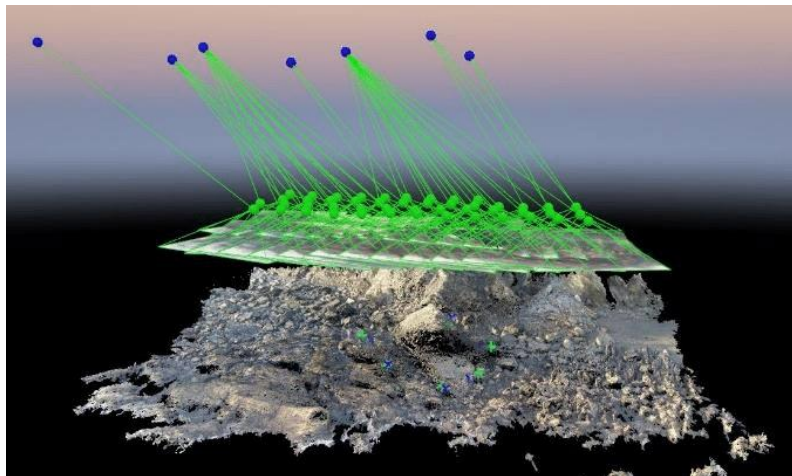


Figura 8. Objeto 3D con puntos de control

Fuente: <https://www.researchgate.net/figure/puntos-densificada>

En resumen, la explotación de la información métrica a partir de imágenes fotogramétricas pasa por transformar la información bidimensional, proporcionada por cada imagen, a

información tridimensional, necesaria para determinar la forma, dimensiones y posición en el espacio del objeto a análisis.

2.5.2. ORIENTACIÓN INTERNA

La orientación interna de una imagen es la primera fase del método general de la fotogrametría y consiste en la reconstrucción del haz proyectivo definido por el tipo de sensor y los puntos de la imagen.

Cada uno de los rayos del haz proyectivo queda definido por el centro proyectivo y el punto de imagen correspondiente al rayo proyectivo.

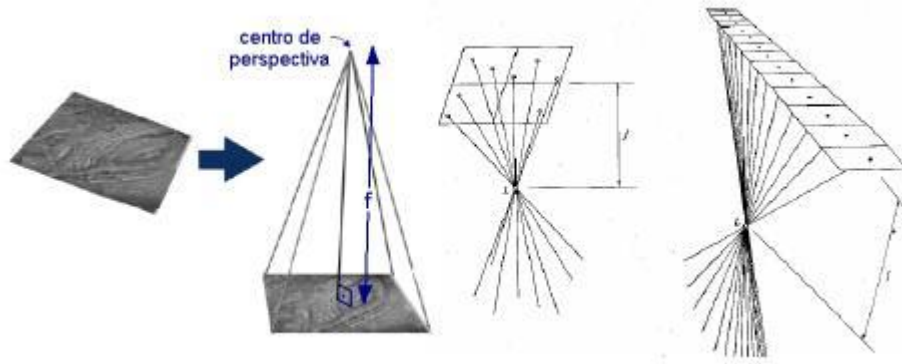


Figura 9. Orientación interna

Fuente: Introducción a la fotogrametría

La definición analítica de un rayo proyectivo pasa por dotar de posición al punto de la imagen en un determinado sistema de coordenadas definido en la imagen, y conocer la posición del centro de proyección respecto de ese sistema de coordenadas.

En la fotogrametría digital podemos definir la orientación interna como el proceso en el que a partir de las coordenadas píxel de la imagen se obtienen las coordenadas en milímetros, a partir de las que se procede con la siguiente fase del método general de la fotogrametría.

El concepto estudiado cambia en fotogrametría digital según la imagen tratada proceda del escaneo de una imagen analógica o se haya adquirido directamente con una cámara digital.

2.5.3. ORIENTACIÓN EXTERNA

La orientación externa es, simplemente, la traslación, rotación, y escalamiento del modelo a su posición georreferenciada según algún sistema de coordenadas determinado.

Tipos de imagen utilizados en fotogrametría

Las imágenes utilizadas pueden clasificarse según varios criterios:

- En función del soporte que se almacene:
 - Soporte analógico: placa de vidrio, película, papel
 - Soporte digital: tiff, jpg
- En función del tipo de sensor que estamos utilizando para tomar las imágenes:
 - Analógico: con diferentes tipos de mecánica en función de la óptica y el obturador.
 - Digital: sensor matricial, rectangular, o puntual.
- En función de la calidad métrica/resolución geométrica de la imagen:
 - Métrica
 - Semi-métrica
 - No métrica
- En función de las características geométricas de la toma:
 - Por el punto de toma:
 - Espacial
 - Aérea
 - Terrestre
- Por la inclinación del eje de toma:
 - Vertical
 - Horizontal
 - Inclinada
 - Panorámica

2.5.4. CORRELACIÓN DE IMÁGENES

Dado un punto de un objeto del que se captan diferentes imágenes fotográficas, se denominan puntos homólogos de las imágenes a los diferentes puntos sobre las imágenes que son imágenes del punto.

Es necesario para fotogrametría digital, identificar puntos homólogos en distintas imágenes o fotografías.

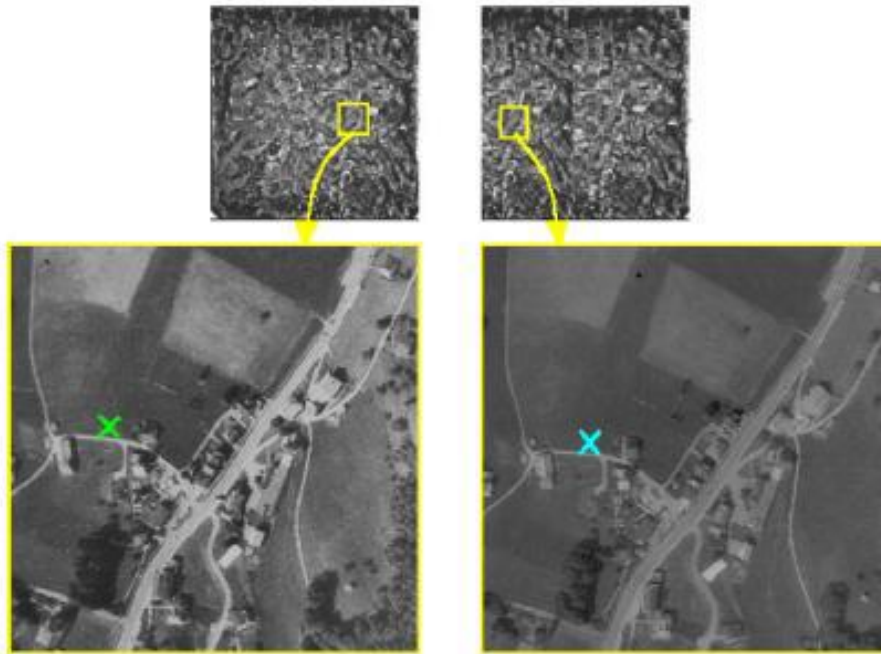


Figura 10. Puntos homólogos

Fuente: Introducción a la fotogrametría

La identificación de puntos se puede hacer de manera manual, semi automática, o automática.

El tratamiento de imágenes digitales aporta el importante avance de permitir desarrollar métodos que automatizan la identificación de puntos homólogos. Para ello, la técnica de correlación juega un papel fundamental.

Definida una imagen inicial, en la cual seleccionamos un punto, el problema es encontrar homólogo sobre ambas imágenes.

Para ello, se define una matriz de píxeles, que tiene como píxel central el punto en cuestión, y sus vecinos serán los píxeles que lo rodean. En rigor, cada celda tendrá el valor digital del píxel correspondiente en la imagen.

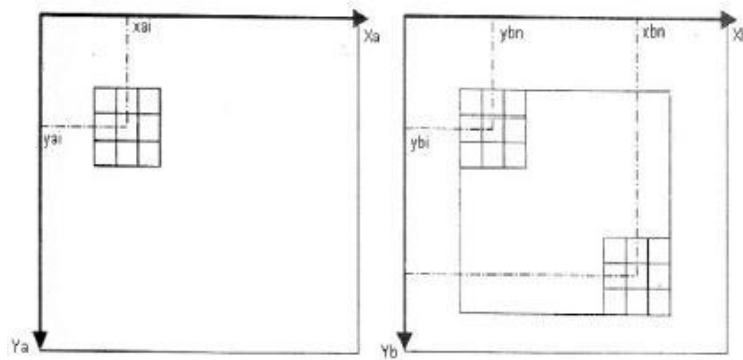


Figura 11. Matriz de 3x3

Fuente: Introducción a la fotogrametría

Un parámetro a tener en cuenta es el tamaño de la matriz, siendo frecuente optar por tamaños de 9x9, 11x11, 25x25. En la figura se ha seleccionado una matriz de 3x3 por simplicidad.

Existen métodos para conocer la posición aproximada del punto homólogo sobre la imagen de búsqueda, lo cual acortará los tiempos de búsqueda de forma significativa.

Por tanto, el resultado de la comparación se obtendrá algún parámetro, determinándose el punto homólogo como aquel para el que el parámetro alcance el valor más próximo al definido como mejor.

2.5.5. CONCEPTOS BÁSICOS DE FOTOGRAFÍA

Desde este principio básico se han ido mejorando los procesos para obtener fotografías, mejorando, por ejemplo, el tiempo de exposición por la presencia de lentes en el sistema. Se ha estudiado mucho desde entonces, parámetros como la sensibilidad de las películas fotográficas, la velocidad de obturación, el enfoque, etc.

Lo particular de las cámaras digitales, es que la película se sustituye por una matriz de sensores CCD que son sensibles a la luz.

2.5.5.1. RESOLUCIONES

Toda imagen posee cuatro resoluciones básicas:

- Resolución geométrica: Esta resolución está directamente relacionada con el tamaño del menor objeto identificable en la imagen. Como ejemplo, podemos decir que una imagen con resolución geométrica de 1 m significa que el menor objeto identificable será de ese tamaño. Objetos menores no se podrán distinguir. Con las imágenes analógicas este parámetro depende de características de la película y del tiempo de exposición.
- Resolución radiométrica: Esta resolución está relacionada con los menores valores de energía que son detectables. De este modo, por ejemplo, se podrían identificar para una imagen de la misma zona, con distinta resolución radiométrica, distintas cantidades de tonalidades de grises.
- Resolución espectral: Ésta se relaciona con las bandas del espectro electromagnético que es capaz de registrar. Una película pancromática, por ejemplo, registra valores dentro de la faja del visible.
- Resolución temporal: Se utiliza principalmente en teledetección por satélite y se relaciona con el tiempo de repetición de toma de una zona determinada.

2.5.5.2. IMÁGENES FOTOGRAMÉTRICAS DIGITALES

Una imagen digital en niveles de gris es una matriz bidimensional compuesta por celdas cuadradas, denominadas píxeles. Dentro de cada pixel hay una coloración sólida, definida por un número digital. Cada número digital se corresponde, en principio, con un nivel de gris. Una imagen digital en color tendrá las tres matrices correspondientes a los colores primarios y el color de un pixel se determinará por la combinación de los valores del mismo píxel en cada una de las matrices.



Figura 12. Generación de matrices de diferentes tipos de elementos

Fuente: <https://digitalfotored.html>

2.5.5.3. RESOLUCIÓN EN IMÁGENES DIGITALES

Resolución geométrica: en las imágenes digitales, la resolución geométrica está directamente relacionada con el tamaño del píxel. El píxel se expresa en micras, y a partir de la escala se traduce en magnitudes terreno. Esto es, el tamaño de un píxel a escala del terreno (o GSD).

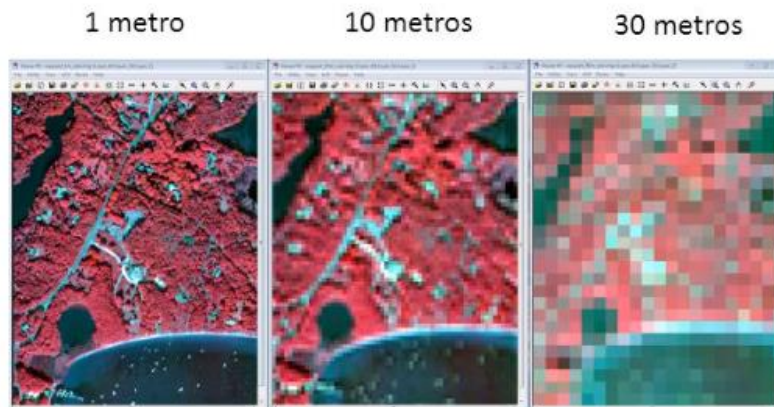


Figura 13. Resoluciones Geométricas

Fuente: www.csc.naa.gov

Resolución radiométrica: es la sensibilidad del sensor para discretizar las distintas radiaciones recibidas. Es más fácil de cuantificar que en las imágenes analógicas.

En las imágenes digitales la información de cada píxel se registra en unidades de información denominadas bits. Cada bit tiene dos posibles valores (0 o 1). Entonces, si asignamos un solo bit a cada píxel, el sensor podrá discretizar entre blanco o negro, sin valores intermedios posibles. En cambio, si asignamos más de un bit el sensor podrá discretizar tonalidades de grises intermedias además de blanco o negro. Es una configuración común el asignar 8 bits a cada píxel (1 byte), teniendo así 256 tonalidades distintas de grises que puede distinguir el sensor.

Tiene como inconveniente que, cuanto mayor es la resolución radiométrica de la imagen, mayor será el tamaño de la misma (por tamaño se quiere decir el volumen del fichero binario en el que se almacena la imagen).

Las resoluciones espectral y temporal, para las imágenes digitales, tienen el mismo significado básico que en las fotografías analógicas.

2.6. DRON VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO (UAV) O DRON

El término vehículo aéreo no tripulado (Unmanned Aerial Vehicle, UAV) o dron actualmente se hizo común en los años 90 para describir a las aeronaves robóticas no tripulado, teledirigido por ondas electromagnéticas y reemplazó el término vehículo aéreo pilotado remotamente (Remotely Piloted Vehicle, RPV), el cual fue utilizado durante la guerra de vietnam y con posterioridad. el documento «Joint Publication 1-02, Department of Defense Dictionary» editado por el Ministerio de Defensa de los Estados unidos define UAV como:

«Un vehículo aéreo motorizado que no lleva a bordo a un operador humano, utiliza las fuerzas aerodinámicas para generar la sustentación, puede volar autónomamente o ser tripulado de forma remota, que puede ser fungible o recuperable, y que puede transportar una carga de pago letal o no. No se consideran UAV a los misiles balísticos o semibalísticos, misiles crucero y proyectiles de artillería».

Sin embargo, ninguno de estos dispositivos se desarrolló satisfactoriamente como para ser utilizados con fines militares antes del final de la I Guerra Mundial. no obstante, marcaron el comienzo de una nueva tecnología, aunque los sistemas de guiado fueran burdos y poco

fiables. Las bombas V-1 y V-2 de la segunda guerra mundial ya se denominaban así (Mayor Seversky: “el poder aéreo, clave de la supervivencia”).

En la década de los 50 la posguerra, la compañía Radioplane, más adelante Northrop, desarrolló con éxito una serie de blancos aéreos no tripulados llamados «Falconer» o «Shelduck». estos continuaron en producción hasta los años 80, adoptando sistemas de radio-control cada vez más evolucionados. Finalmente recibieron la designación BTT (Basic Training Target) y se produjeron en cantidades mucho mayores que cualquier otro blanco aéreo propulsado con motor alternativo.



Figura 14. Northrop falconer

Fuente: <https://hemav.com/el-origen-y-la-historia-de-los-drones/>

Los aviones militares con sistemas de propulsión a reacción, en esta época se desarrollaron blancos más rápidos y de mayor alcance en los años 60 posteriormente fueron equipados con cámaras para misiones de reconocimiento sobre territorio enemigo. Estas aeronaves operaban a grandes altitudes, donde el control de radio en línea de vista desde una estación de control en tierra era posible, o a altitudes más bajas. Las fotografías eran reveladas en la base, cuando el UAV o dron retornaba. estos «intrusos» eran menos fáciles de detectar y menos fáciles de derribar que los aviones de reconocimiento tripulados y, adicionalmente, no darían lugar a incidentes diplomáticos relacionados con la captura de un piloto humano.

Finales de los años 70 el dron se encuentra equipado con un pequeño turborreactor, el MBLE Epervier volaba su perfil de vuelo mediante un autopiloto pre-programado asistido por enlace radio. Los datos se grababan a bordo y luego se procesaban en la estación de tierra, a su regreso.

En la década de los 2000 se le añadió un sistema de navegación más precisa basada en GPS, que le permitía volar siguiendo más de cerca el terreno.

2.6.1. USOS DEL DRON

➤ Agricultura

La supervisión de los cultivos antes un recorrido extenso por el campo, estar tomando atención de los cultivos en caso de plagas u otros factores que afecten a los sembradíos. En el momento que se emplean los drones en las actividades como: supervisión de los cultivos, índice de estrés de la planta, índice de vigor de las planta, apoyo en la identificación de suelos que necesitan más abono o están con algún tipo de plagas para una mejor producción.



Figura 15. Identificación de cultivos con cámara multiespectral

Fuente: <https://blogthinkbig.com/peoplefirst/drones-para-la-agricultura>

➤ Emergencias

Los drones cuentan con la tecnología necesaria, para volar a grandes distancias y enviar desde su cámara imágenes en segundos de lo que está pasando en el momento y así alertar a las autoridades. En la actualidad este tipo de tecnología ha sido aceptada por los servicios de emergencia, como una de las mejores herramientas para actuar en situaciones de emergencia como: prevención y control de incendios, búsqueda de personas desaparecidas, apoyo en accidentes y desastres naturales y transporte de primeros auxilios.



Figura 16. Drones bomberos

Fuente: Valencia Plaza

➤ Seguridad Nacional

Actualmente en varios países, hacen uso del dron como un medio táctico para el control de sus fronteras e incluso recabar información de amenazas para el planteamiento de una estrategia para lograr la seguridad de la población en general.



Figura 17. Dron para la policía boliviana

Fuente: <http://www.la-razon.com>

➤ Medio De Diversión

Como parte del ocio, las diferentes industrias han generado varios tipos de dron con uso recreativo como grabar o como un juguete para niños. Cada dron posee características específicas e incluso, existe la posibilidad de armarlo para desarrollar interés por la ingeniería o simplemente desarrollar tu habilidad con las herramientas.



Figura18. Dron en una Speeder Bike, en la moto de la Guerra de las Galaxias

Fuente: <http://www.viralfeeling.com>

2.7.1. TIPOS DE DRON

Existen gran variedad y modelos de dron, en donde los más comerciales pueden ser catalogados como los multirrotores o modelos tipo ala fija. La ventaja de uno respecto a otro depende mucho de la finalidad, zona de despegue y aterrizaje, área a sobrevolar y productos que se requieran obtener, respetando los niveles de seguridad, maniobrabilidad de vuelo en modo autónomo, monitorizado, supervisado o preprogramado.

- De Ala fija: Similares a los aviones de Aeromodelismo
- De Multirrotores: Helicópteros, Cuadrópteros, Sextópteros, Octópteros

2.7.1.2. ALA FIJA

El ala fija es el claro ganador en lo que a autonomía se refiere. Según esté equipado con motor eléctrico o de explosión, puede permanecer en el aire varias horas. Es la plataforma perfecta para trabajos que abarquen una gran extensión de terreno. Por otra parte, es el más eficiente aerodinámicamente hablando, ya que, con la configuración adecuada, puede permanecer bastante tiempo sin necesidad de utilizar el motor gracias al planeo. Por otra parte, el hecho de poder planear hace que sea una plataforma mucho más segura, en un supuesto fallo de motor puede planear hasta llegar al punto de aterrizaje.

Sin embargo, el ala fija, está preparado para unos fines muy específicos, lo que le resta versatilidad a la hora de ser utilizado. Su principal desventaja es el tema del aterrizaje y el despegue. El no poder aterrizar y despegar verticalmente nos obliga a tener que acotar una extensión bastante grande de terreno (unos 60m), y que ésta sea plana y sin obstáculos.

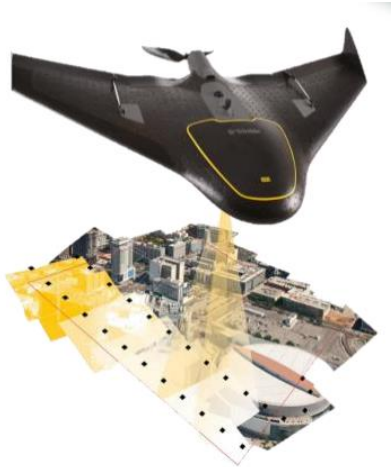


Figura 19. Dron de ala fija

Fuente: www.solodron.top/de-ala-fija

Por otra parte, un dron de ala fija no permite hacer un vuelo estacionario, lo que nos impide poder realizar un sinnúmero de operaciones. También posee una reducida capacidad de carga de peso respecto a su tamaño.

2.7.1.3. MULTIRROTORES

Es conveniente conocer el principio físico más importante que afecta al dron, que es el mismo que concierne a los helicópteros: el equilibrio de momentos. El momento se define en física como una fuerza por un brazo o longitud, dando lugar a un giro. También se llama “par” porque dos fuerzas diametralmente opuestas de sentidos contrarios y con brazos idénticos, dan lugar a que el sólido gire alrededor de un eje.

Una hélice rotando crea un momento igual y de sentido contrario que, por el principio de acción-reacción de Newton, si no se compensa de alguna forma, hace que la aeronave se halle en desequilibrio, esta es la razón por la cual, si en un helicóptero falla el rotor de cola todo el fuselaje del helicóptero empezará a girar en sentido contrario a las palas, para compensar el par creado por el rotor principal.



Figura 20. Dron Multirrotor Phantom 4 Pro

Fuente: <http://www.dronstarragona.com/drons-profesionales/>

2.7.2. PROGRAMA DE PROCESAMIENTO DE IMÁGENES DE DRON

2.7.2.2. DRON2MAP

Dron2map para ArcGIS es un programa de fotogrametría digital específico para el uso de datos dron y su perfecta integración con ArcGIS Desktop y ArcGIS Pro. A partir de imágenes con geotagging (con datos GPS) es capaz de generar un archivo con la trayectoria del dron y los puntos de disparo.

Una vez calibrado y comprobado que todos los datos son correctos se inicia el proceso de generación de forma muy intuitiva. Una vez terminado, se genera un informe de precisión y calidad de datos y se cargan los productos generados.

Productos que genera:

- Modelos digitales de superficie (MDS).
- Ortomosaicos.
- Nubes de puntos 3D (formato LAS, entre otros).
- Índices NDVI (si cuentas con datos multiespectrales).

La precisión de los productos depende directamente de las imágenes tomadas por el dron. En las pruebas realizadas por GIS se han alcanzado precisiones de 3 cm/pixel con una precisión en datos de altura de 6 cm en X, Y e 10-12 cm en Z.

2.7.3. VUELO FOTOGRAMÉTRICO CON DRON

Para obtener resultados de alta precisión, se requiere una alta superposición entre las imágenes. Por lo tanto, el plan de adquisición de imágenes debe diseñarse en el siguiente flujo de trabajo:



Figura 21. Flujo de trabajo

Fuente: www.arcgis.esri.colombia.com

2.7.3.2. PLANEACIÓN DE VUELO

Es una etapa importante se considera un 30% del trabajo se debe delimitar el objetivo de la misión y el propósito de la información, para obtener los mejores resultados.

Dentro de la planeación del vuelo se debe tomar en cuenta los siguientes parámetros:

- Casos de Uso: Se relaciona con el tipo de misión, propósito de la misma.
- Configuración de traslape: traslape lateral, longitudinal y altura de vuelo según la resolución requerida.
- Angulo de toma: fotografía vertical, nadir u oblicuo bajo u oblicuo alto.
- Sistema de coordenadas: se considera en función a la ubicación del proyecto.

Planeación de vuelo para el multirroto se debe considerar los siguientes pasos:

- Tipo y propósito de misión.
- Características de la cámara: tamaño del sensor, lente distancia focal y velocidad de obturación.
- GSD tamaño de pixel requerido.
- Tamaño del área a fotografiar.

2.7.3.3. DISTANCIA DE MUESTREO DE VUELO (GSD GROUP SIMPLE DISTANCE)

La Distancia de muestreo en el suelo (GSD), es la distancia entre el centro de dos píxeles consecutivos en el suelo. Influye en la precisión y la calidad de los resultados finales, así como en los detalles que son visibles en el ortomosaico final. La distancia de muestreo en el suelo se ve afectada por la altura a la que vuela y las especificaciones de la cámara. Una altura más baja, con la misma cámara, significa una distancia de muestra más baja y salidas más detalladas.

Sin embargo, volar más bajo significa tomar más tiempo (y baterías) para capturar la misma área. Las diferencias en el terreno y los cambios en el ángulo de la cámara significan que las imágenes en el mismo proyecto pueden tener diferentes GSD.

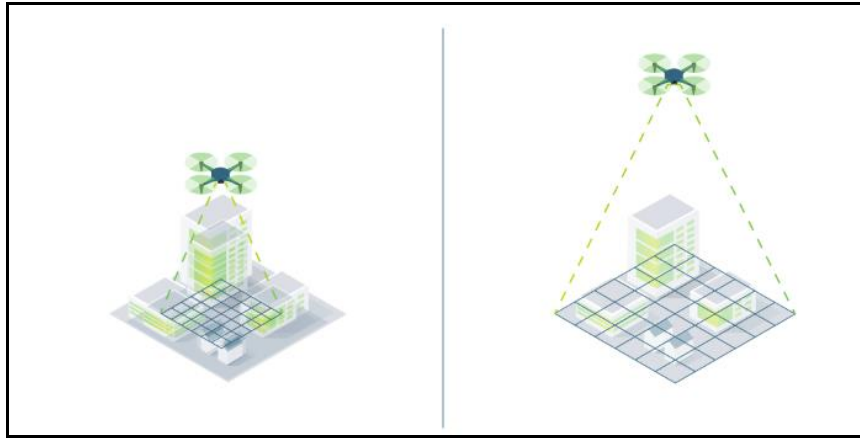


Figura 22. La altitud afecta la distancia de la muestra del suelo

Fuente: <https://www.pix4d.com/blog/accuracy-aerial-mapping>

La distancia de muestreo en tierra que necesita depende de las necesidades del proyecto. Al modelado de una estructura compleja, necesita un GSD bajo para capturar tantos detalles como sea posible. Antes de despegar, decida el GSD correcto y se define la altura de vuelo.

La altura requerida que se necesita para obtener un GSD determinado depende de la longitud focal de la cámara, el ancho del sensor y el ancho de la imagen.

2.7.3.4. SOBREPOSICIÓN DE IMÁGENES

Los recubrimientos longitudinales y transversales son dos de los parámetros fundamentales de vuelo fotogramétrico. El objeto de los recubrimientos fotográficos es el de poder aplicar el principio de la visión estereoscópica a los fotogramas aéreos. La parte común entre dos fotografías consecutivas es el modelo estereoscópico como transversalmente.

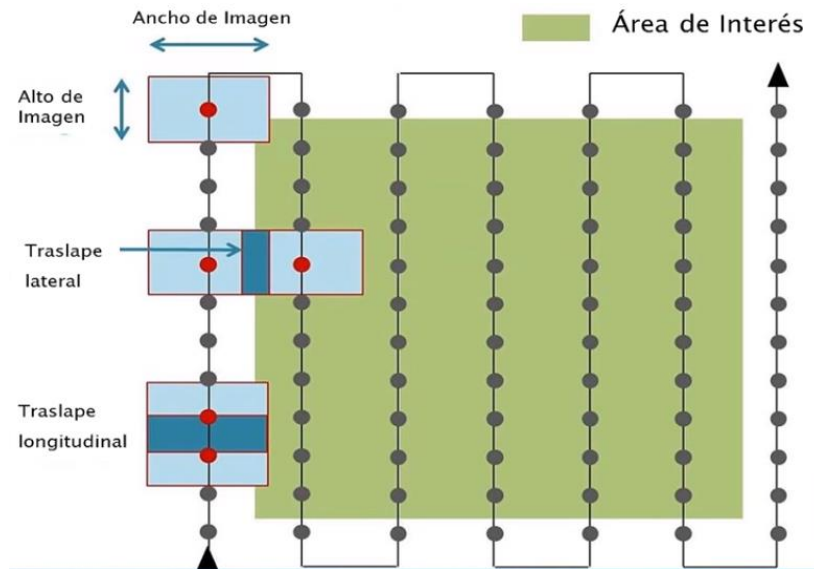


Figura 23. Traslapes y tamaño de fotografías

Fuente: https://www.youtube.com/watch?v=szM_rwGRALY&t=3202s

- **Recubrimiento longitudinal:** la situación ideal que el eje principal es estrictamente vertical, el terreno es llano y horizontal, y el vehículo vuela en línea recta a una altitud constante, se obtendrá una serie de fotografías e intervalos iguales de modo que las fotos se alinearan formando una banda o pasada fotográfica. Sin embargo, en la realidad la forma y dimensiones del terreno cubierta por las fotos en función de la inclinación del eje vertical, variaciones en la altura de vuelo y el relieve del terreno.

En fotogrametría convencional se sugiere un recubrimiento longitudinal de 60% en el caso de dron se sugiere por encima del 70 %.

- **Recubrimiento Lateral:** para cubrir un territorio extenso es preciso hacer varias bandas o pasadas dispuestas lateralmente respecto de la primera. Debe ser paralelas y recubrirse de modo que no exista ningún hueco en el área de interés. Es recomendable que el recubrimiento transversal sea mayor al 50% y en el caso del dron por encima del 70%

2.7.4. SISTEMAS DE REFERENCIA (WGS-84)

El sistema convencional de referencia terrestre adoptado para el posicionamiento GPS es el denominado World Geodetic System 1984 (WGS84), cuya característica fundamental es que

su origen de coordenadas cartesianas es geocéntrico, definido por los valores de las constantes los cuales son:

Semieje mayor (a): 6378137.0 m
Semieje menor (b): 6356752.3142451793 m
Achatamiento (f): 1/298.257223563

Coordenadas geodésicas long. /lat.: en grados sexagesimales (ggmmss.s)

Altura elipsoidal: en metros

2.7.5. PROYECCIÓN CARTOGRÁFICA

Parámetros de la Proyección Universal Transversa de Mercator (UTM):

Datum: WGS-84

Unidades: Metros

Numeración de las Zonas de proyección (Bolivia): Zonas 19, 20 y 21

Meridiano Central por zona:

Zona 19 (72° W - 66° W) 69°00'00" Oeste

Zona 20 (66° W - 60° W) 63°00'00" Oeste

Zona 21 (60° W - 54° W) 57°00'00" Oeste

Falso Norte: 10000000 metros

Falso Este: 500000 metros

Factor de Escala del Meridiano Central: 0.9996

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.7. TRABAJO DE CAMPO

3.7.1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La presente investigación se realizó en la localidad de Pucara se ubica en el Municipio de Sacaba, ubicado en el distrito 2 de la Provincia Chapare, del Departamento de Cochabamba.

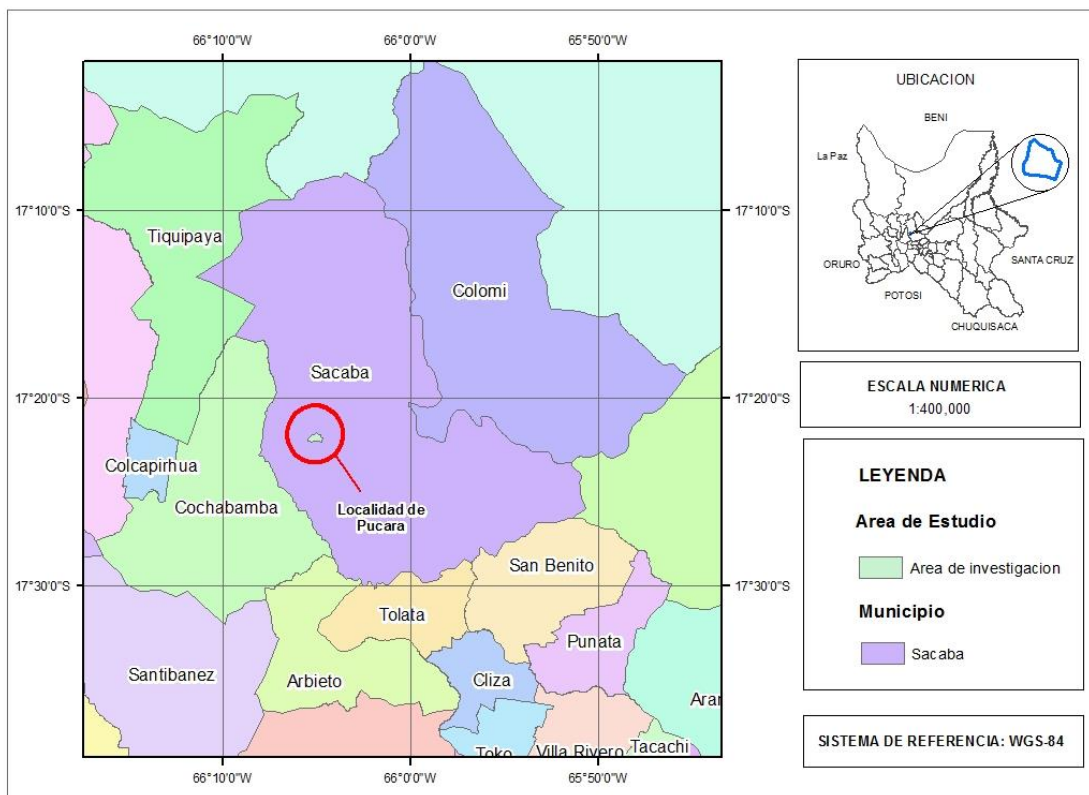


Figura 24. Área de investigación en el municipio de sacaba

Fuente: Elaboración propia

El área de estudio cuenta con una superficie de 82 ha. tomado en cuenta un área excedente de la superficie real de la localidad para realizar el vuelo de dron con mayor sobreposición y evitar áreas con baja sobreposición alrededor de nuestra área de investigación.

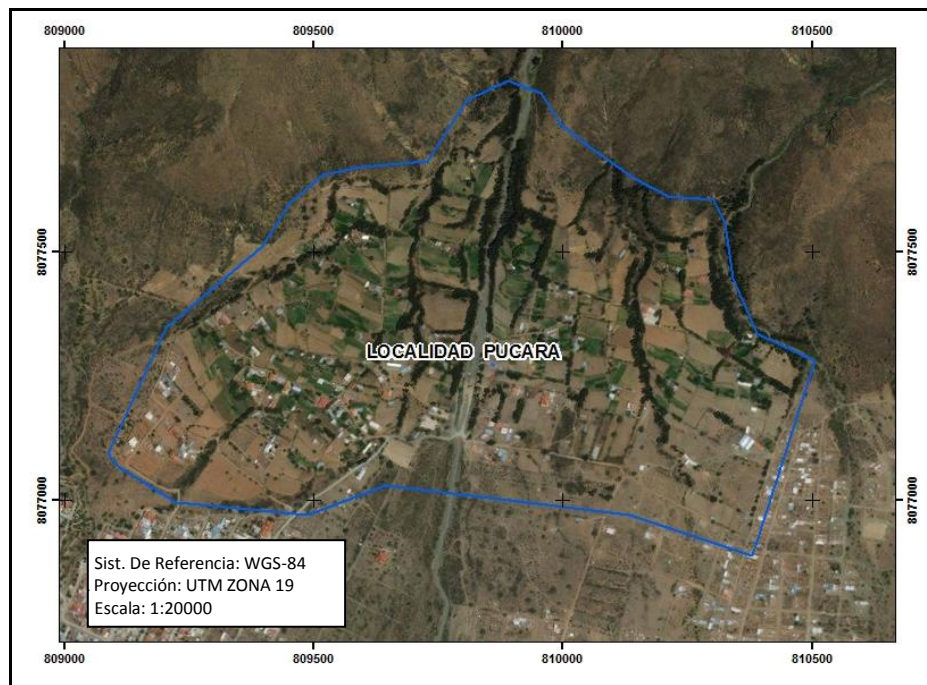


Figura 25. Área de estudio de la localidad de pucara

Fuente: Elaboración propia

3.7.2. ASPECTOS GENERALES DEL AREA DE ESTUDIO

El lugar presenta una Topografía de baja moderada característica de los valles con delimitación natural de un río principal y secundarios condiciones se tomaron en cuenta las condiciones meteorológicas adecuadas (sin niebla, sin lluvia y sin viento) para el vuelo de dron.

El clima en Pucara es templado, con un clima similar al de la ciudad de Cochabamba. La temperatura esta entre 26° C - 28° C, velocidad del viento de 8 y 9 km/h, lluvia: 0 mm y precipitación: 0 mm (fuente: <http://senamhi.gob.bo>).

La vegetación caracteriza por distintos tipos de cultivos desde flores, vegetales (arvejas, lacayotes, espinacas y otros) también podemos encontrar arboles de frutales como: mandarina, naranja, toronja, limón entre otros.



Figura 26 Cultivos de Arvejas

Fuente: Toma Propia

En el ámbito agropecuario se pueden apreciar diferentes tipos de aves no voladoras como: gallinas, patos y pavos. Respecto a la vida silvestre se encuentran una variedad de insectos en toda el área de estudio.

3.7.3. INSTRUMENTOS

Los instrumentos que se utilizaron para el proyecto, son los siguientes:

- GPS geodésico de precisión South Galaxi G1
- Dron Phantom 4 Pro

Las especificaciones de los equipos se encuentran detalladas en el anexo “G”



Figura 27 Equipos utilizados en campo

Fuente: Toma Propia

A demás se usaron equipos como:

- Cámaras fotográficas.
- Dos computadoras portátiles.
- Materiales de escritorio.

3.7.4. LOGÍSTICA

De acuerdo a la disponibilidad de los equipos y el tipo de trabajo, se utilizó como apoyo logístico una camioneta todo terreno.

3.8. DESARROLLO DEL TRABAJO DE CAMPO

3.8.1. RECONOCIMIENTO DEL ÁREA DE ESTUDIO

Se realizó el reconocimiento del área de estudio, con la finalidad de tener una idea a grandes rasgos sobre el tipo de relieve que se presenta en la zona y con esto elegir los sitios donde se establecerán los puntos de control terrestre, que nos ayuden a cubrir toda el área de trabajo. Para la optimización de los tiempos y tomando en cuenta el tiempo de procesamiento de las imágenes de dron demora alrededor de 12 horas, se optó por la reducción del área de estudio tomando una superficie de 52 ha. Para una mejor densificación de puntos de control terrestre.

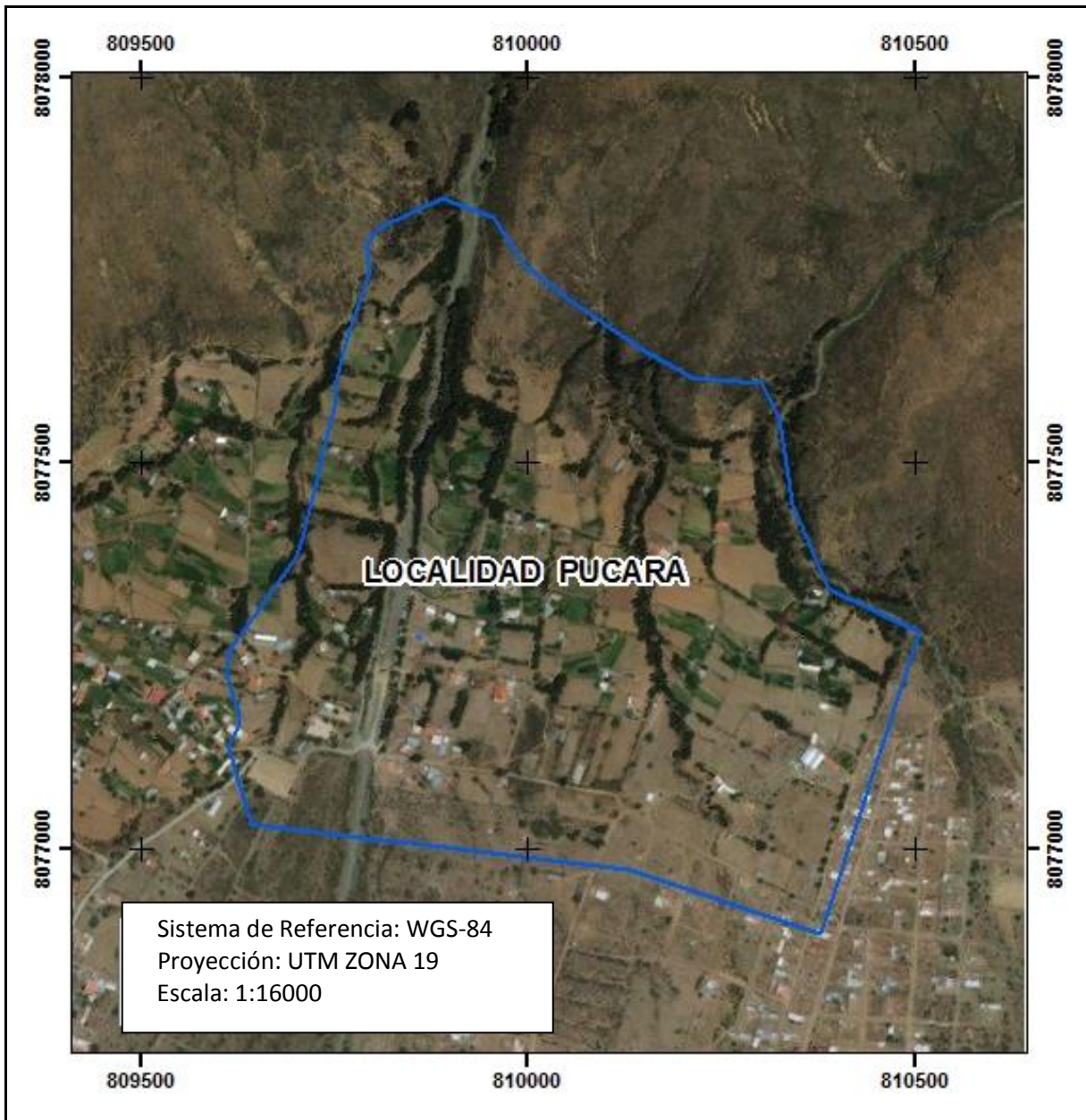


Figura 28 Área de estudio localidad Pucara con una imagen satelital Aster 2013 (NASA)

Fuente: Elaboración Propia

3.8.2. ESTABLECIMIENTOS DE PUNTOS DE CONTROL TERRESTRE (GCP)

Los puntos de control geodésico densificados se establecen mediante equipos GPS de precisión, enlazados a la red geodésica Nacional.

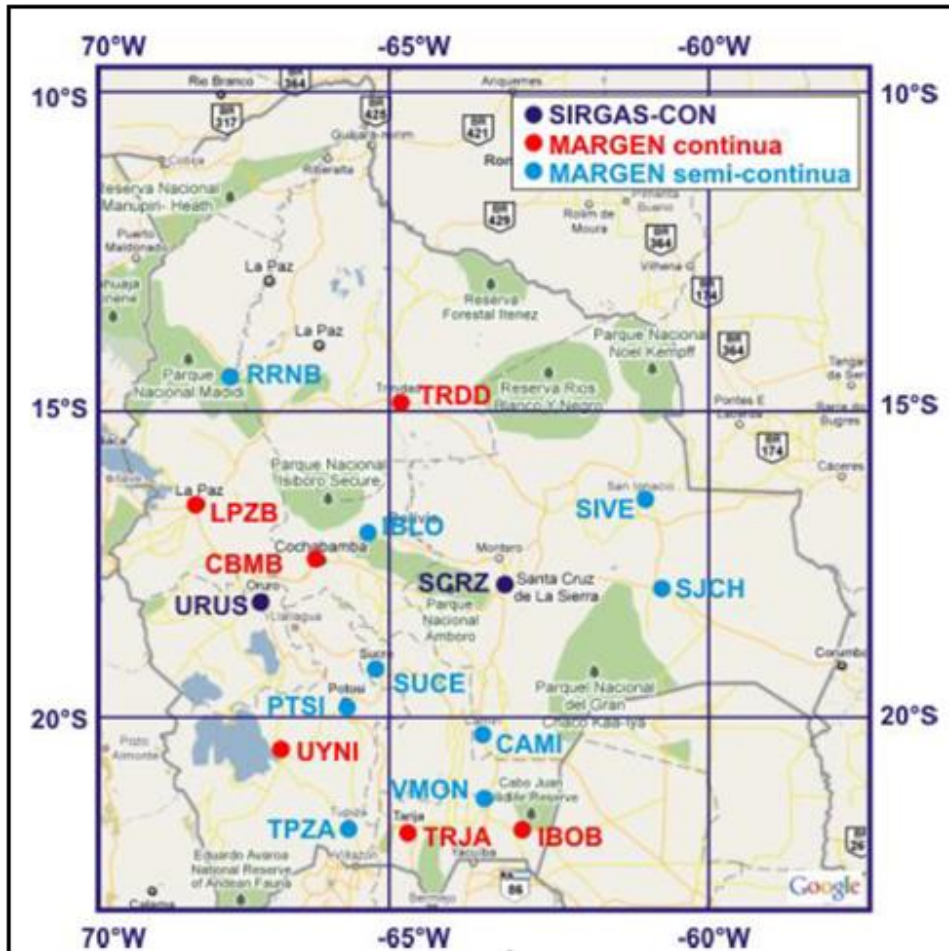


Figura 29 Marco de Referencia Geodésico Nacional (MARGEN) de Bolivia.

Fuente: Instituto Geográfico Militar

Para el establecimiento de nuestro punto base pucara se realizó con el método RTK RTK (del inglés Real Time Kinematic) o navegación cinética satelital en tiempo real para lo cual nos posesionamos en el punto (AM-5-R) el mismo que encuentra enlazado a la red MARGEN por el instituto geográfico militar.

Identificado el punto mediante la monografía nos establecemos en el mismo el cual se encuentra a 2 km de nuestra área de estudio, distancia idónea para mantener una buena precisión.

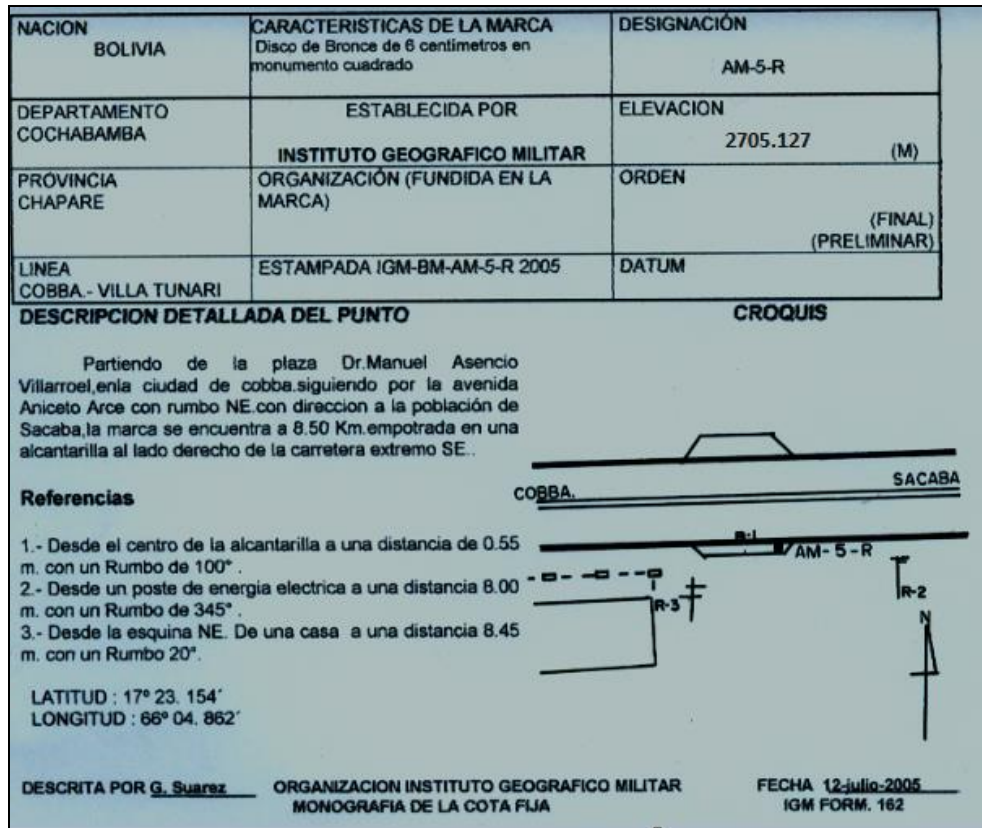


Figura 30 Monografía del punto IGM

Fuente: Instituto Geográfico Militar

Logrado el establecimiento del punto base se verificó la precisión del mismo mediante el replanteo desde nuestro punto base pucara hacia una coordenada conocida del Programa de Mejora de Gestión Municipal de Sacaba, ubicado a 2 km aproximadamente del cual llegamos con un error de 8 milímetros en X, Y.

Además, este punto de control terrestre será empleado como base para la densificación de los demás puntos terrestre que se establecerán en toda el área de trabajo.

Se considero según parámetros de la geodesia:

- Durante la sesión se deberá contar con un mínimo de cinco satélites.
- Intervalo de grabación: 10 seg.
- Máscara de elevación: 15°
- Inicialización con el mínimo de 6 satélites;

Para la ubicación y el establecimiento de los puntos de control terrestres, se toman en cuenta las siguientes condiciones:

- Que estén ubicados en lugares estables de fácil acceso.
- Que en lo posible los puntos sean identificables.
- Que estén libres de obstrucciones.
- Que no estén próximos a cables de alta tensión, antenas de radio que interfieran con la señal, etc.
- Que se encuentren distribuidos en el área de investigación.

En la densificación de los demás puntos de control terrestre, se aplicaron las especificaciones técnicas mencionadas anteriormente.

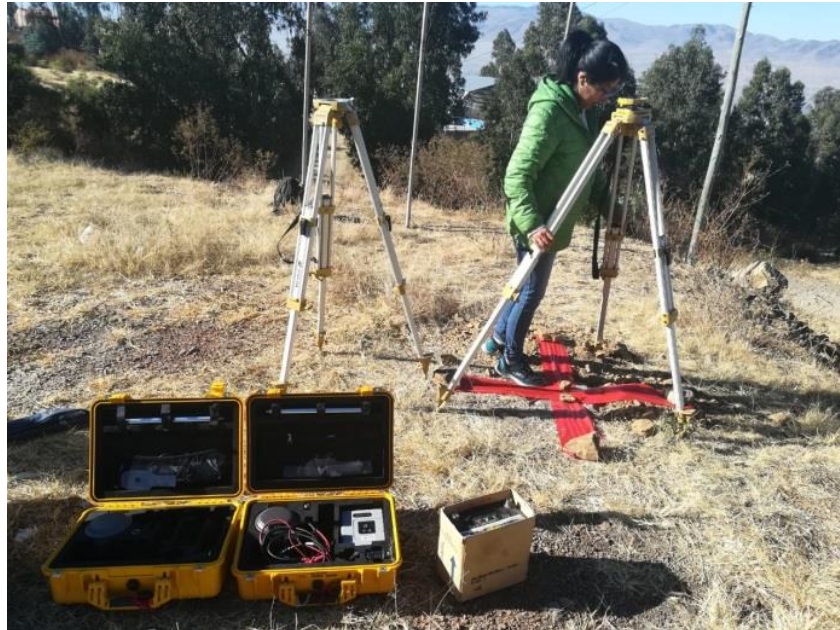


Figura 31 Densificación de puntos

Fuente: Toma propia

Se procedió a identificar los puntos de control terrestre en campo y procedemos a sesionar en los mismos puntos identificados para su posterior reconociendo para el proceso de georreferenciación y procesamiento de las imágenes.



Figura 32 Identificación de Puntos

Fuente: Toma propia

Para la panelización el muestreo del suelo y la distancia de las imágenes: los puntos de control terrestre (GCP) debe: Ser visible en las imágenes. El objetivo GCP debe tener alrededor de cinco a diez veces las dimensiones de la GSD para nuestro caso con un GSD de 2.30 cm tomamos una línea de espesor de 10 cm y un largo de 50 cm al momento de intersectarse se tendrán identificado el punto con coordenadas conocidas. Se lograron la densificación e identificación de 15 puntos de control terrestre más el punto base dentro de nuestra área de estudio que distribuidos de la siguiente manera.

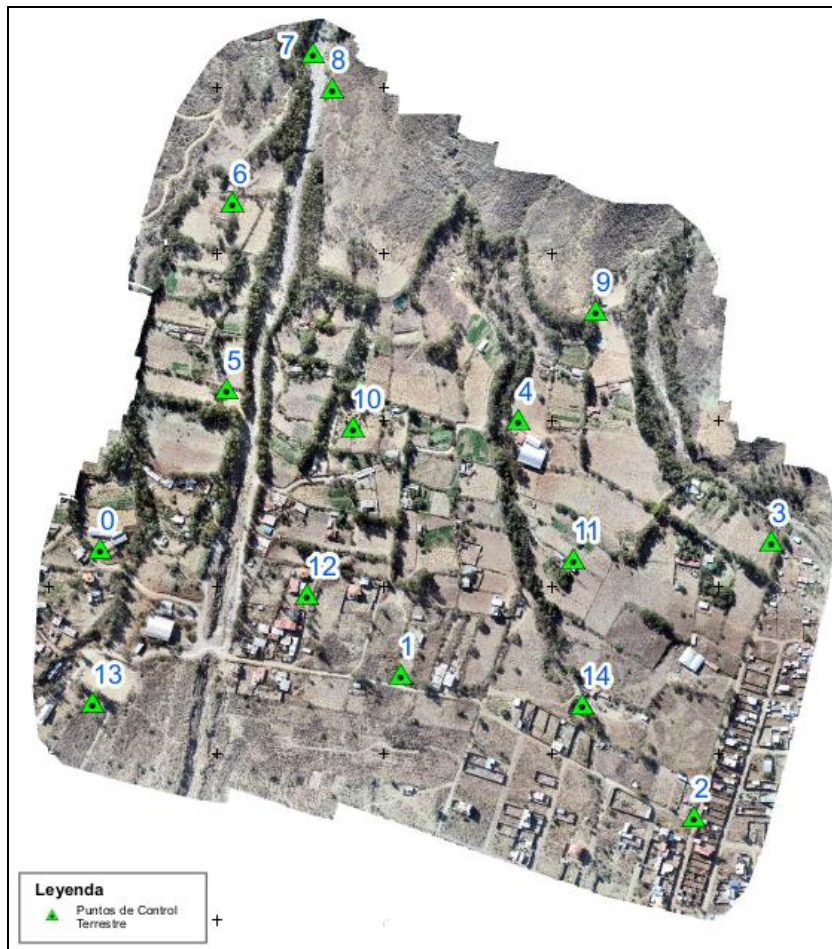


Figura 33 Puntos de control terrestre distribuidos en el área de estudio

Fuente: Elaboración propia

Los puntos de control son puntos con coordenadas terrestres x,y,z conocidas, que a se obtienen a partir de la densificación de puntos de control en el área estudio se utilizan para garantizar que el proceso fotogramétrico tenga puntos de referencia en el terreno. En un ajuste de bloques, las imágenes superpuestas están unidas para minimizar el error entre todos los puntos de enlace y los puntos de control del terreno. El ajuste de bloques se puede aplicar sin los puntos de control y aun así garantiza una precisión relativa, pero agregar los puntos de control aumenta la precisión absoluta de las imágenes ajustadas. Los puntos de verificación son puntos de control excluidos del cálculo de ajuste y se utilizan para determinar la precisión del ajuste. Por ende, más puntos de control terrestre se necesitan más vínculos y, por tanto, implican más tiempo de procesamiento.

Punto	Nombre	Norte	Este	Altura Elip.	Status	RMSH	RMSV
0	Base Pucara	8077245,456	809660,436	2902,128	Fixed	0.003	0.009
1	pcontrol1	8077095,498	810019,231	2883,540	Fixed	0.003	0.006
2	pcontrol2	8076923,755	810369,860	2844,241	Fixed	0.002	0.004
3	pcontrol3	8077255,261	810463,343	2885,045	Fixed	0.004	0.008
4	pcontrol4	8077401,028	810160,547	2908,832	Fixed	0.006	0.009
5	pcontrol5	8077437,514	809811,952	2932,607	Fixed	0.007	0.013
6	pcontrol6	8077662,879	809819,663	2975,870	Fixed	0.004	0.004
7	pcontrol7	8077841,486	809915,713	2989,631	Fixed	0.011	0.027
8	pcontrol8	8077799,118	809937,424	2989,937	Fixed	0.003	0.005
9	pcontrol9	8077532,018	810252,509	2942,663	Fixed	0.004	0.007
10	pcontrol10	8077392,172	809962,452	2926,864	Fixed	0.005	0.011
11	pcontrol11	8077234,090	810225,804	2890,688	Fixed	0.003	0.008
12	pcontrol12	8077191,790	809908,368	2902,476	Fixed	0.008	0.015
13	pcontrol13	8077061,462	809652,334	2873,027	Fixed	0.007	0.010
14	pcontrol14	8077059,388	810236,349	2862,493	Fixed	0.010	0.016
Sistema de Referencia: WGS-84 - Proyección UTM Zona 19							

Tabla 1: Puntos de control terrestre

Fuente: Elaboración propia

En la anterior tabla también se visualiza el error medio cuadrático (RMS) tanto vertical como horizontal de cada punto de control terrestre.

Los puntos de control terrestre se encuentran expresados en Norte, Este y Altura elipsoidal, para el ingreso de los puntos de control terrestre serán expresados como x, y e z. para el ingreso de los puntos de control terrestre al programa Drone2Map.

Los puntos recolectados son utilizados como puntos de control terrestre para el procesamiento de las imágenes de dron. Los mismos datos son distribuidos en tres grupos: 1ro de cinco puntos de control, el 2do de diez puntos de control y el 3ro con los quince puntos de control los cuales nos brindara resultados diferentes en cada caso.

3.8.3. GENERACION DE UN PLAN DE VUELO

DronDeploy es un programa que realiza planes vuelos fotogramétricos con dron en los cuales se genera proyectos con relación al área y especificaciones de cada proyecto como ser de prospección o para análisis minuciosos el mismo es de fácil manipulación.

Es recomendable generar el plan de vuelo en una computadora portátil y descargar la aplicación en el dispositivo Android que se empleará para realizar el sobrevuelo.

Se inicia con la generación de un nuevo proyecto.

La siguiente imagen cuadro muestra de los parámetros iniciales de la programación de vuelo. Para la mejor planificación vuelo se debe tomar en cuenta los parámetros como sistema métrico y la superficie (ha.), el tiempo de vuelo y cambio de baterías para reanudar el mismo.

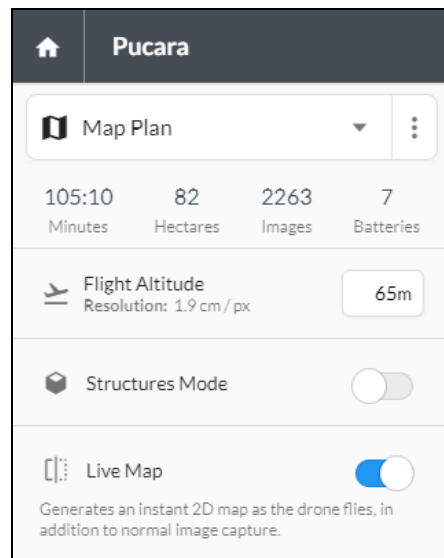


Figura 34 Parámetros del plan de vuelo con DroneDeploy

Fuente: Toma Propia

Para genera un nuevo proyecto debemos tomar en cuenta los siguientes datos:

- **Plan Name:** Nombre del vuelo
- **Flight Altitude:** Determina la altura de vuelo.
- **Structures mode:** Es un modo de vuelo empleado en la reconstrucción tridimensional de edificios o estructuras. No se usa en vuelos fotogramétricos.

- **Live map:** Genera un mapa en tiempo real desde el dispositivo que se esté empleando sin necesidad de postprocesamiento. Desbloqueable con programas de pago para DroneDeploy.

Se debe tomar en cuenta que mientras más bajo sea determinada la altura de vuelo se tendrán fotografías de alta resolución y por ende se necesitara más tiempo para el procesamiento de las imágenes correspondientes al peso de las imágenes recolectadas en gigabyte (GB).

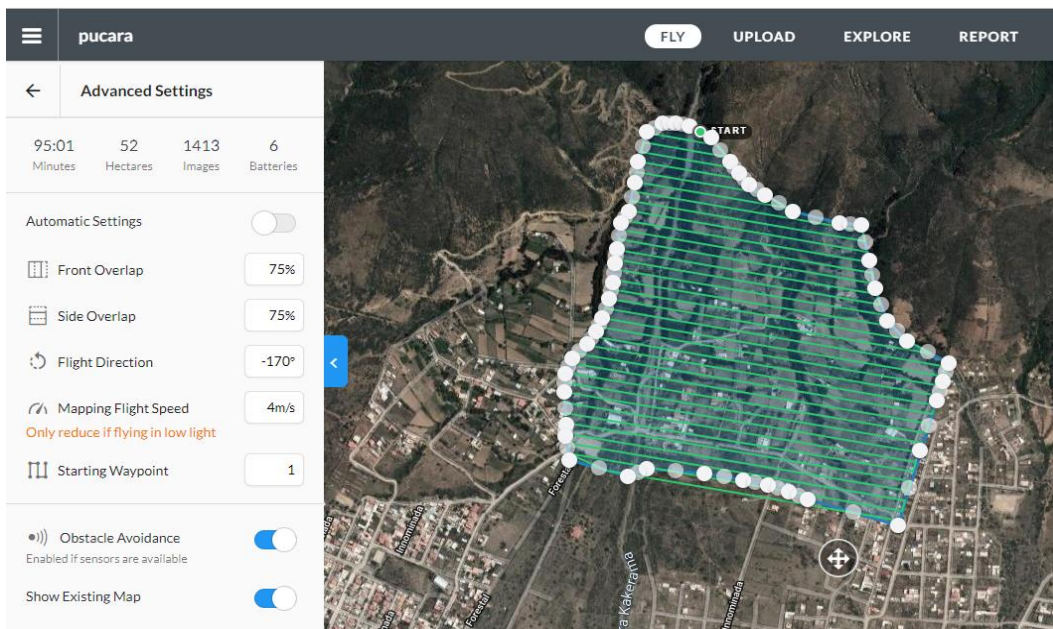


Figura 35. Plan de vuelo con DroneDeploy

Fuente: Toma Propia

Una vez que se ha completado el plan de vuelo generamos un polígono de nuestra área de estudio considerando datos importantes como:

- La superficie del vuelo de dron: 52 ha
- Altura de vuelo: 120 km
- El número de imágenes: 1413 img.
- Cantidad de baterías: 6 baterías
- Sobreposición longitudinal: 75%

- Sobreposición lateral: 75%

Proseguimos con la revisión de nuestro plan de vuelo y guardamos la información para su ejecución en el vuelo sobre el área de investigación.

3.8.4. VUELO DE DRON

Realizado el plan de vuelo se procede a ejecutar la misión con el dron Phantom4Pro iniciando la aplicación móvil de DroneDeploy con la configuración anteriormente mencionada descrita en el acápite anterior. Para controlar el avance de nuestra misión podemos verificar el estado del vuelo en la pantalla de nuestro dispositivo móvil.



Figura 36. Vuelo de dron en el área de estudio

Fuente: Toma Propia

En el vuelo de dron se realizó en un día con un clima favorable cielo despejado y sin corrientes de viento y considerando la altura no se tuvo problemas con respecto a obstáculo para el dron tomando en cuenta la planificación previa sobre nuestra área de investigación. Se tomo en cuenta las siguientes consideraciones para el vuelo de dron:

- Hora de toma: 11 horas 45 min
- Velocidad del viento: 9 km/hr.
- Pronóstico de lluvia: 0 mm
- Probabilidad de precipitación: 0 %
- Nubosidad: 0%

3.8.5. PROCESAMIENTO DE IMÁGENES DE DRON

Una vez concluido la fase de recolección de datos de campo (vuelo de dron) podemos procesar la información recolectada con diferentes programas en este caso se procesará con Dron2Map de ArcGis.

Inicialmente debemos crear una cuenta gratuita en ArcGIS Online para obtener una licencia libre la cual tendrá una duración de 16 días. Se procede a instalar Dron2map.



Figura 37. Inicialización de dron2map

Fuente: Fotografía propia

Para procesar las imágenes recolectadas debemos descargarlas de la tarjeta SD del Phantom4Pro en nuestro ordenador. Procedemos a crear un nuevo proyecto en dron2map (Pucara), cargar las imágenes en Dron2map identificando la carpeta de origen y seleccionamos todas las imágenes recolectadas en la misión se desplegarán una vez cargadas. Se debe contemplar una limpieza de las imágenes de otros proyectos u imágenes de otra índole.

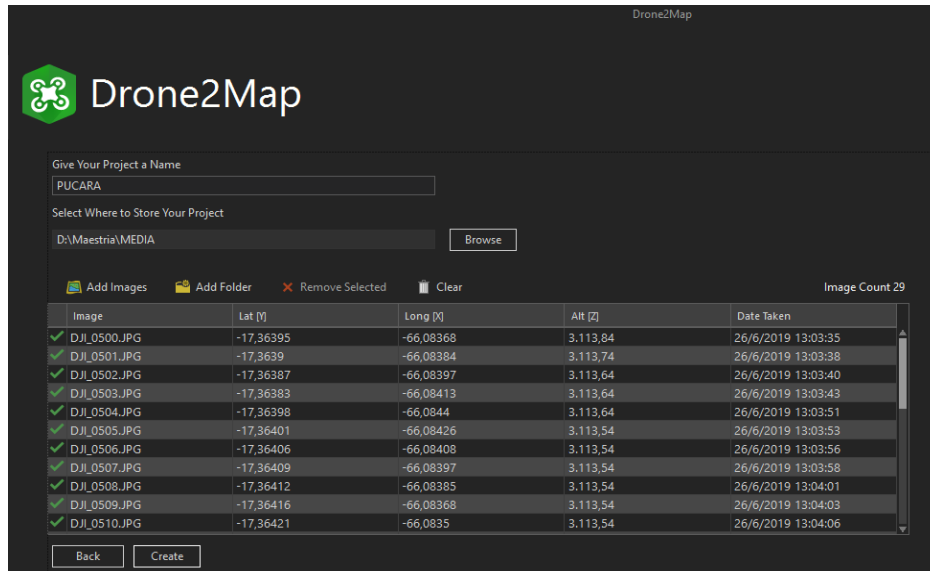


Figura 38. Imágenes de Dron cargadas en Drone2Map

Fuente: Fotografía propia

Las imágenes cargadas se visualizan sobre el área de estudio con 1413 imágenes de dron con un peso de 10 GB generándose un shape de puntos el cual identifica las fotografías respecto a su ubicación geográfica con un identificador único del número de fotografías y se visualizan sobre el área de investigación visualizando la cobertura de las imágenes de dron sobre el área de estudio.

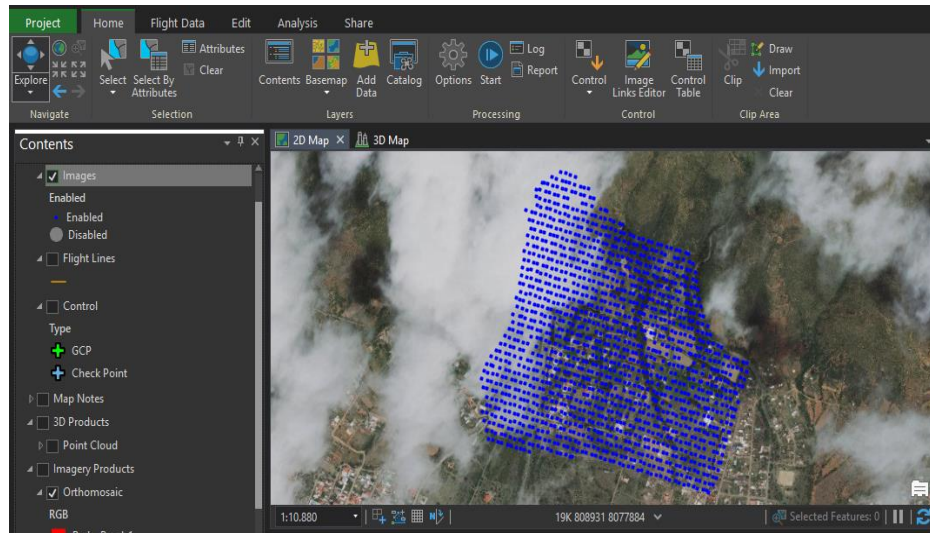


Figura 39. Shape de puntos identificando las imágenes de dron

Fuente: Fotografía propia

Una vez cargadas las imágenes del dron procedemos a importar los puntos de control terrestre el cual ayuda en gran medida a aumentar la precisión de nuestros productos. Las coordenadas geográficas son representadas mediante X, Y e Z los cuales se encuentran en un block de notas teniendo varias opciones para importar datos los cuales se importan mediante el icono que se visualiza en el siguiente gráfico.

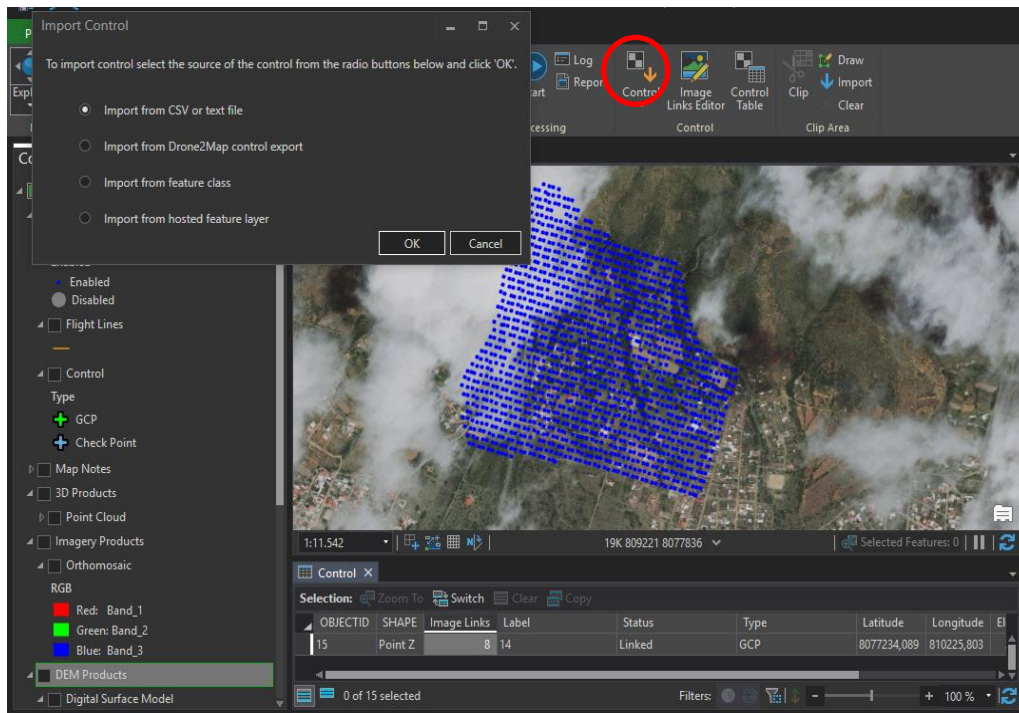


Figura 40. Importar de puntos de control terrestre

Fuente: Fotografía propia

Se debe especificar el sistema de coordenadas de los puntos de control terrestre (GCP), al momento de cargar los GCP en Drone2Map. Si el sistema de coordenadas de los puntos de control terrestre es diferente al del espacio de trabajo de representación geográfica. Se debe tomar en cuenta que el sistema de coordenadas geográficas se direcciona por defecto al sistema: WGS84, pero el mismo debe ser verificado. También se utiliza un modelo geoidal EGM96 el cual es óptimo para Bolivia.

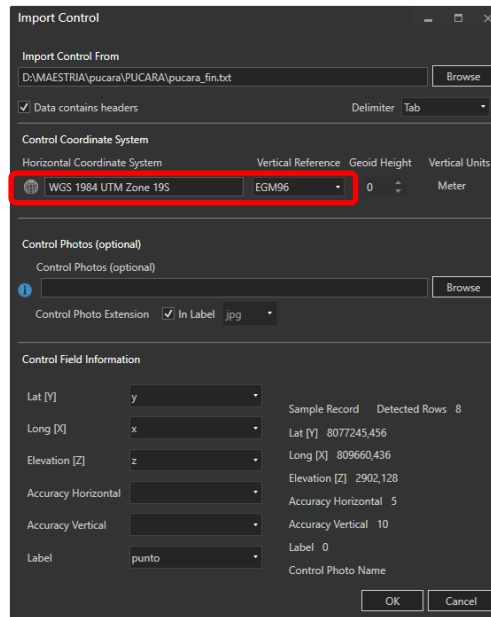


Figura 41. Ventana para importar puntos de control terrestre

Fuente: Fotografía Propia

Se debe especificar los campos del Archivo GCP corresponden a los parámetros de la representación cartográfica según los campos de la lista se representan de la siguiente forma: Este = x, Norte = y e altura elipsoidal = z tomando en cuenta que se utiliza un modelo geoidal el EGM96 para ayudarnos a corregir los valores de z.

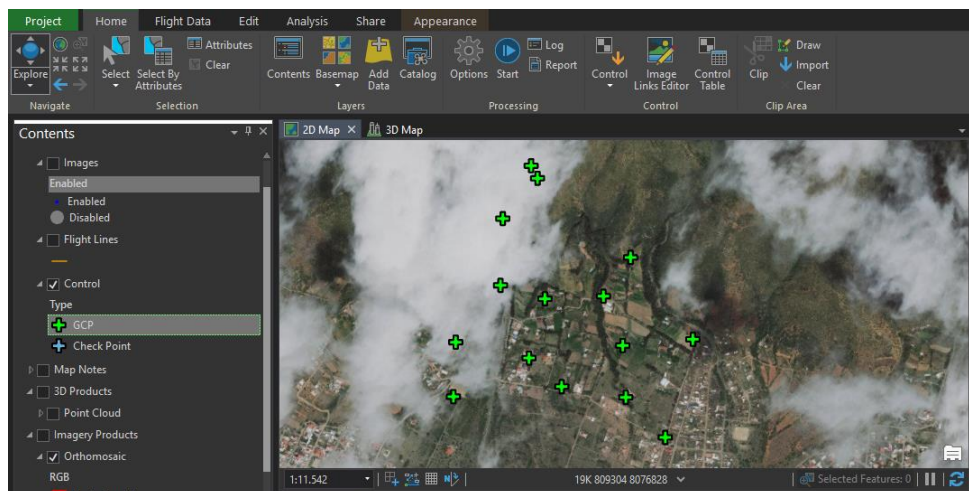


Figura 42. Puntos de control visualizados

Fuente: Fotografía Propia

Una vez cargados los puntos de control por el programa en el mismo nos permite visualizar la ubicación de los puntos de control terrestre sobre nuestra área de investigación donde se debe georreferenciar las imágenes de dron respecto a los puntos de control terrestre.

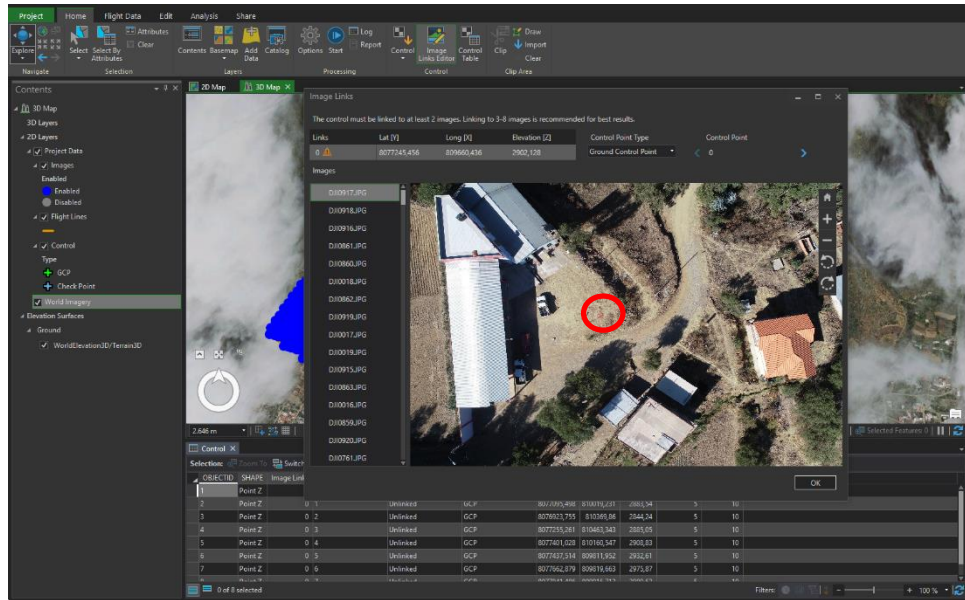


Figura 43. Identificación de punto de control terrestre

Fuente: Fotografía Propia

Se procede a identificar los GCP en las fotografías de dron para lograr mejor precisión en la generación del ortomosaico, MDT y MDS. Es recomendable de seis a ocho links (marcas de enlace), con los GCP. En el cuadro lateral izquierdo podemos ver la cantidad de fotografías en las cuales aparece el GCP, pero no en todas las imágenes pueden contener el punto de control. Por tanto, para lograr un buen producto se debe obviar las imágenes en la cuales el punto de control no sea identificable o en su defecto no se encuentre. Dándonos el programa aproximadamente unas 50 imágenes de dron donde se realiza los links correspondientes.

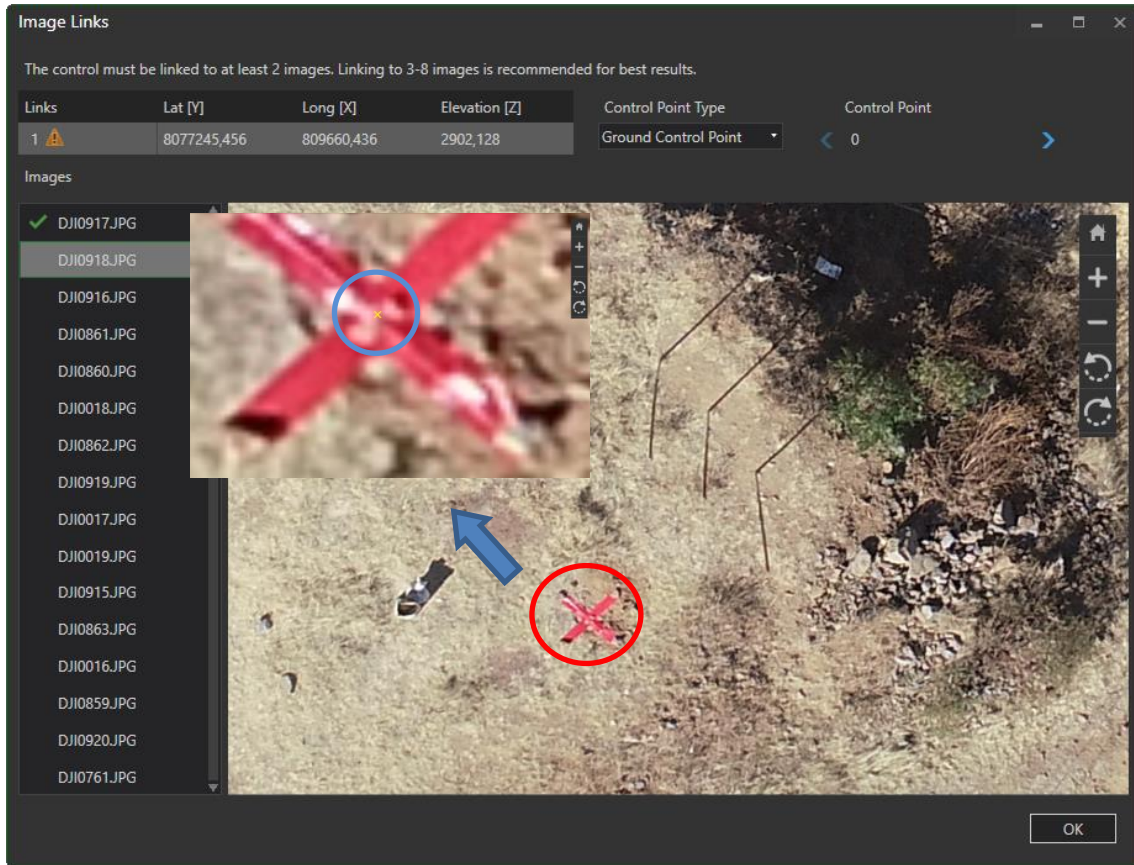


Figura 44. Marcas de enlace en las imágenes de dron

Fuente: Fotografía Propia

Una vez terminado el proceso de identificación de GCP iniciamos el procesamiento de las imágenes de dron. Nótese que una vez se inicie el proceso mediante la figura siguiente y no se tiene otros pasos adicionales para el procesamiento.

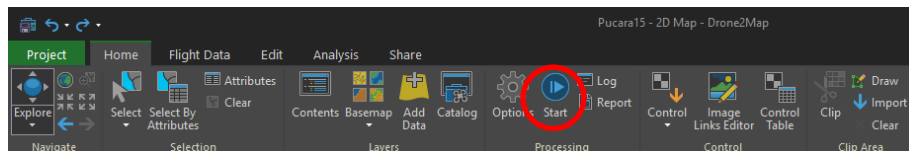


Figura 45. Barra superior de Dron2Map

Fuente: Fotografía Propia

Identificados los GCP procedemos a procesar nuestros productos los cuales duran un estimado de 12 horas para generar los diferentes productos: Ortomosaico, Modelo digital del terreno (MDT) y Modelo digital de la superficie (MDS).

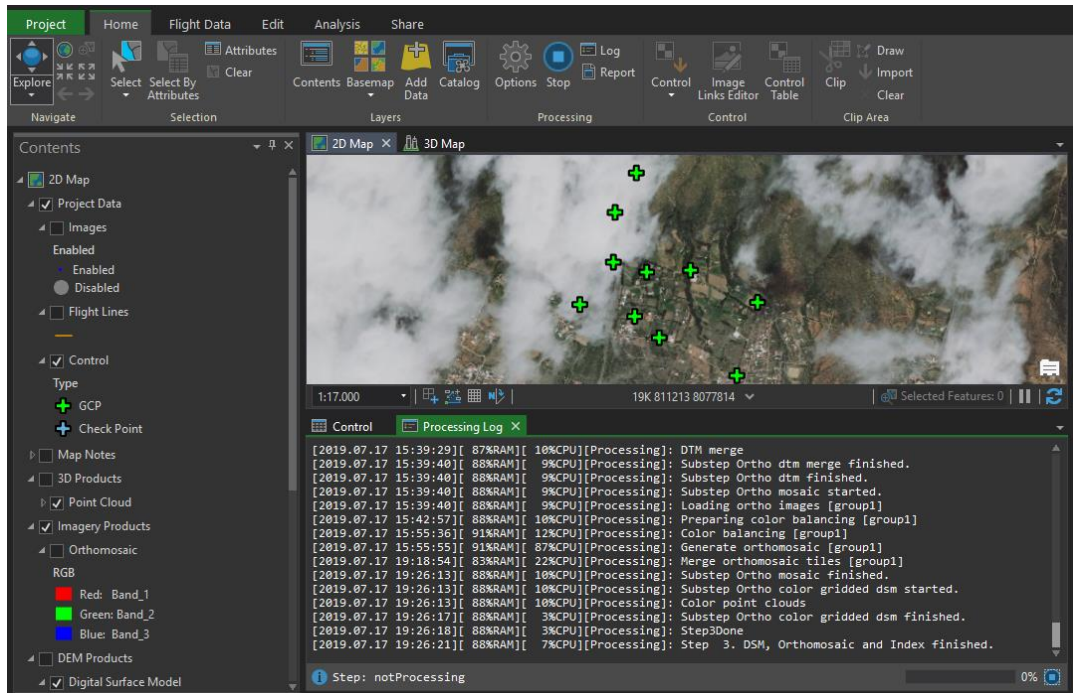


Figura 46. Procesamiento de las imágenes de dron

Fuente: Elaboración Propia

Una vez concluido el procesamiento de las imágenes de dron podemos ver los siguientes productos:

- Ortomosaico georreferenciado: resolución de 2.3 cm.
- Modelo digital de terreno (MDT): 12 cm.
- Modelo digital de la superficie (MDS): 2.3 cm.

Los cuales refleja una precisión en centímetros los cuales son ideales para diversos proyectos en la rama de la ingeniería.

CAPITULO IV

4. GENERACION RESULTADOS Y DISCUSION

La fotogrametría nos brinda la oportunidad de innovar mediante nuevos equipos como el dron los cuales nos sirven para modelar la superficie terrestre con productos en 3D y 2D los mismos cuentan con gran precisión en centímetros e incluso resultados en campo que ayudan a concluir con proyectos de alto riesgo en el ámbito de la Topografía en menor tiempo.

Los resultados obtenidos con Dron 2map son los siguientes:

4.7. ORTOMOSAICO

El ortomosaico es un producto de imagen fotogramétrica ortorrectificado organizado como mosaico a partir de una colección de imágenes, donde la distorsión geométrica se ha corregido y se ha realizado un balance de color de las imágenes para producir un dataset de mosaico continuo.

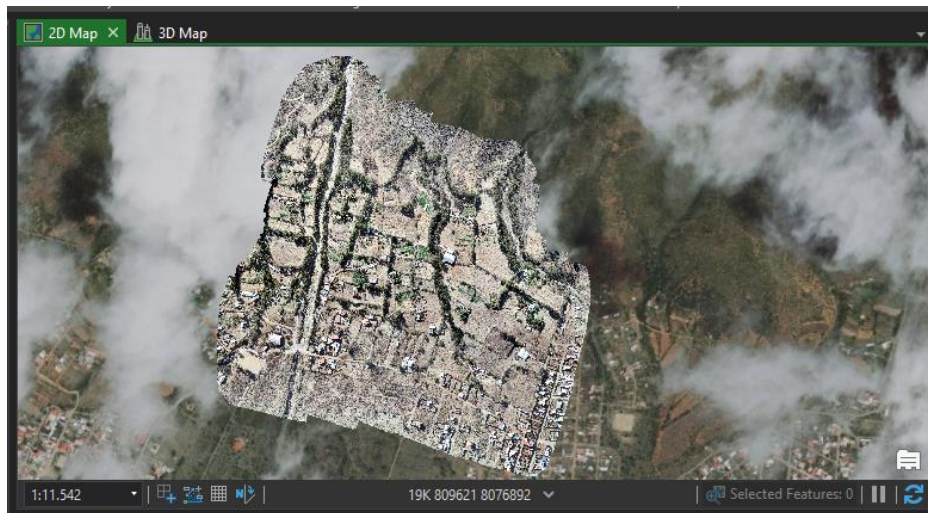


Figura 47. Ortomosaico

Fuente: Fotografía Propia

El programa Dron2Map proporciona un flujo de trabajo común para generar mosaicos de ortomágenes a partir de la colección de imágenes ajustadas. El mismo proporciona un flujo

de trabajo guiado con tres pasos pre configurado para generar una imagen corregida fotogramétricamente a partir de su colección de imágenes:

- ✓ Balance de color
- ✓ Generación de líneas de unión
- ✓ Configuración de ortomosaico

Por ende, tenemos un producto ortorectificado y de gran resolución espacial donde podemos ver los productos, contamos con una resolución de 2.3 cm debe ser tomado en cuenta para actividades como el catastro, prospecciones, análisis de accesibilidad para apertura de nuevos caminos o enlazar los existentes entre una variedad de aporte a la diversidad de proyectos.

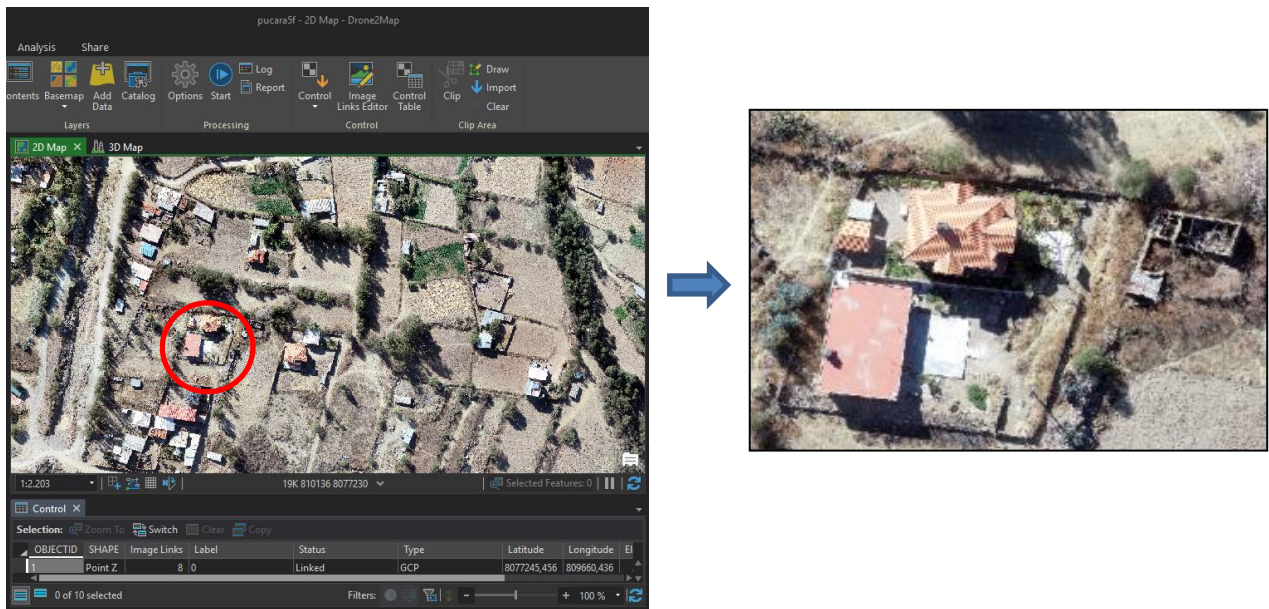


Figura 48. Resolución en centímetros

Fuente: Elaboración Propia

4.8. MODELO DIGITAL DE SUPERFICIE (DSM)

El modelo digital de superficie nos presenta una resolución espacial de 2.3 cm el cual coadyuva en varios proyectos.

El Modelo Digital de Superficie (DSM) representa las elevaciones sobre el nivel del mar de las superficies reflectantes de árboles, edificios y otras características elevadas sobre la Tierra.

Un DSM es útil en modelado 3D para telecomunicaciones, planificación urbana y aviación. Debido a que los objetos se excluyen de la Tierra, esto es particularmente útil en estos ejemplos:

- Zona de aproximación a pista de aterrizaje invadida. En la aviación, los DSM pueden determinar las obstrucciones de la pista en la zona de aproximación.
- Manejo de la vegetación. A lo largo de una línea de transmisión, los DSM pueden ver dónde y cuánta vegetación está invadiendo.
- Obstrucción de la vista. Los planificadores urbanos usan el DSM para verificar cómo un edificio propuesto afectaría el punto de vista de los residentes y negocios.

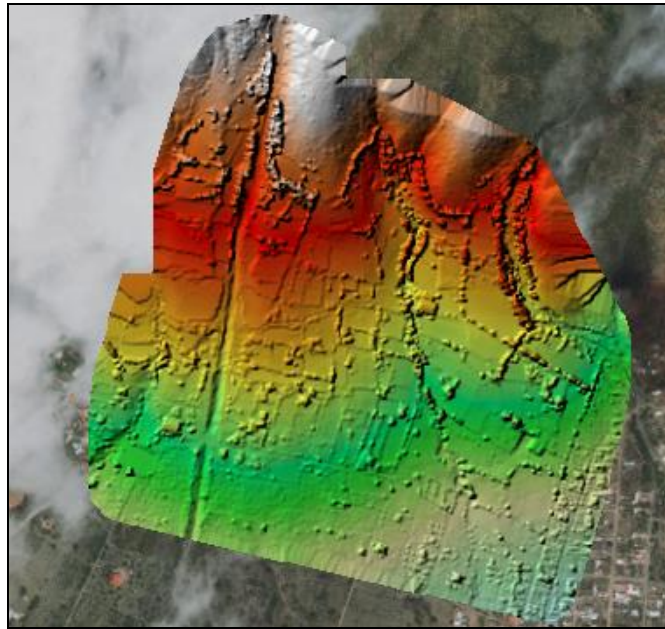


Figura 49. Modelo digital de superficie

Fuente: Elaboración Propia

4.9. MODELO DIGITAL DE TERRENO (DTM)

Un Modelo Digital del Terreno (DTM) puede describirse como una representación tridimensional de una superficie del terreno consistente en coordenadas X, Y, Z almacenadas en forma digital. La cual excluye elementos que se encuentran en la superficie como árboles, vegetación y en general edificaciones hechas por el hombre.

La elevación se puede derivar cuando la colección de imágenes tiene una buena cantidad de superposición para formar los estereopares. La superposición de imágenes típica para generar nubes de puntos es una superposición del 75 % longitudinal y 75 % lateral, de modo que todas las ubicaciones del suelo se cubren con varias imágenes.

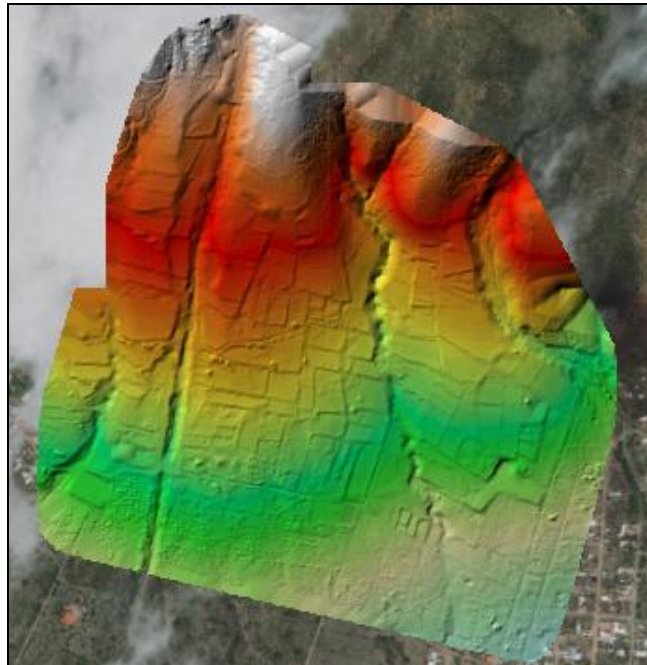


Figura 50. Modelo digital de terreno

Fuente: Elaboración Propia

4.10. INFORME DE AJUSTES

El ajuste de bloques es el proceso de cálculo de un ajuste o transformación basado en la relación interna entre las imágenes superpuestas, los puntos de control, un modelo de cámara y un modelo digital de elevación (DEM). Tras realizar un ajuste de bloques, es necesario revisar los resultados del ajuste y evaluar la calidad de los puntos de control del

terrestre (GCP), utilizados en el ajuste. Se muestra un resumen de los resultados en la ventana Informe de ajuste.

- Tabla Resumen de ajuste

La tabla resumen nos brindara información general del procesamiento de las imágenes. Analizando los resultados con 10 GCP en la presente tabla, pero los reportes correspondientes a los tres grupos mencionados con la cantidad variable de GCP se encuentran en los anexos.

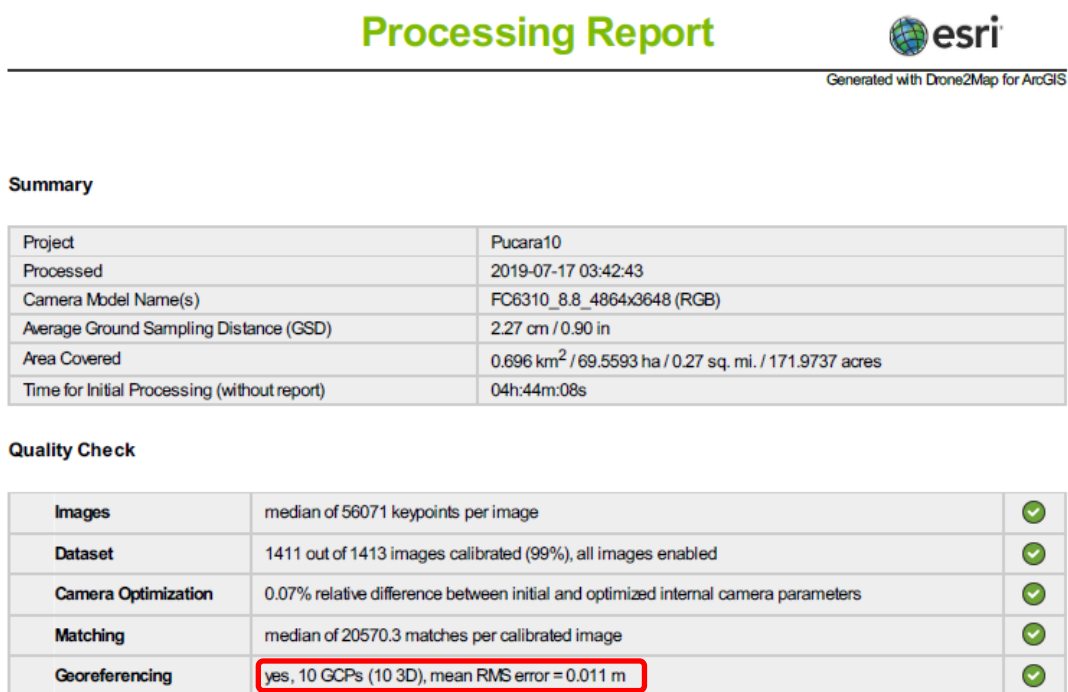


Figura 51 Reporte de procesamiento

Fuente: Elaboración Propia

Para interpretar el error cuadrático medio (RMS) como la precisión de georreferenciación, se debe tomar en cuenta que cuando la fórmula general se deriva y se aplica al punto de control terrestre, se devuelve una medida del error residual. El error es la diferencia entre dónde terminó el punto de partida y la ubicación real especificada. El error total se calcula mediante la suma cuadrática media (RMS) de todos los errores residuales para calcular el error RMS. Este valor describe el grado de coherencia de la transformación entre los distintos puntos de control terrestre.

Aunque el error RMS es una buena evaluación de la precisión de georreferenciación respecto al tema de investigación. Se debe tomar en cuenta, que la transformación puede contar con errores considerables debido a un punto de control mal introducido. Cuantos más puntos de control terrestre de calidad equivalente se utilicen.

Para los resultados se debe tomar en cuenta que nuestra área de trabajo no presentaba una pendiente pronunciada por ende no necesitaba de una gran cantidad de puntos de control terrestre, para verificar la precisión de la distribución de los grupos de GCP los mismos se aplicaron la siguiente distribución de puntos de control para la generación de los ortomosaicos.

Tabla 2: Cinco puntos de control²

Punto	Nombre	Norte	Este	Altura Elip.
0	Base Pucara	8077245,456	809660,436	2902,128
2	pcontrol2	8076923,755	810369,860	2844,241
3	pcontrol3	8077255,261	810463,343	2885,045
5	pcontrol5	8077437,514	809811,952	2932,607
7	pcontrol7	8077841,486	809915,713	2989,631
Sistema de Referencia: WGS-84 - Proyección UTM Zona 19				

Fuente: Elaboración Propia

² Ver anexo "D"

Tabla 3: Diez puntos de control³

Punto	Nombre	Norte	Este	Altura Elip.
0	Base Pucara	8077245,456	809660,436	2902,128
1	pcontrol1	8077095,498	810019,231	2883,540
2	pcontrol2	8076923,755	810369,860	2844,241
3	pcontrol3	8077255,261	810463,343	2885,045
4	pcontrol4	8077401,028	810160,547	2908,832
5	pcontrol5	8077437,514	809811,952	2932,607
6	pcontrol6	8077662,879	809819,663	2975,870
7	pcontrol7	8077841,486	809915,713	2989,631
10	pcontrol10	8077392,172	809962,452	2926,864
12	pcontrol12	8077191,790	809908,368	2902,476
Sistema de Referencia: WGS-84 - Proyección UTM Zona 19				

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4: Quince puntos de control⁴

Punto	Nombre	Norte	Este	Altura Elip.
0	Base Pucara	8077245,456	809660,436	2902,128
1	pcontrol1	8077095,498	810019,231	2883,540
2	pcontrol2	8076923,755	810369,860	2844,241
3	pcontrol3	8077255,261	810463,343	2885,045
4	pcontrol4	8077401,028	810160,547	2908,832
5	pcontrol5	8077437,514	809811,952	2932,607
6	pcontrol6	8077662,879	809819,663	2975,870
7	pcontrol7	8077841,486	809915,713	2989,631
8	pcontrol8	8077799,118	809937,424	2989,937
9	pcontrol9	8077532,018	810252,509	2942,663
10	pcontrol10	8077392,172	809962,452	2926,864
11	pcontrol11	8077234,090	810225,804	2890,688
12	pcontrol12	8077191,790	809908,368	2902,476
13	pcontrol13	8077061,462	809652,334	2873,027
14	pcontrol14	8077059,388	810236,349	2862,493
Sistema de Referencia: WGS-84 - Proyección UTM Zona 19				

Fuente: Elaboración Propia

³ Ver anexo "D"

⁴ Ver anexo "D"

La distribución de puntos de control terrestre fue homogénea en el área de estudio y por ende logramos los siguientes resultados que son extraídos de los informes de procesamiento de Dron2Map (véase anexos), los cuales reflejan que no es necesario tener varios puntos de control terrestre para lograr precisión en centímetros incluso la calibración de las imágenes fue más óptima solo con 5 puntos de control terrestre distribuidos en una superficie de 52 ha. Este resultado estaría de acuerdo a la Topografía del lugar como se mencionó anteriormente no presentaba pendiente pronunciada.

Tabla 5: Comparación de Resultados

Número de Puntos de Control Terrestre	Error Medio Cuadrático (RMS)
5 GPS	0.005 m
10 GPS	0.011 m
15 GPS	0.017 m

Fuente: Elaboración Propia

Como podemos ver los resultados reflejan que mientras más puntos de control terrestre utilicemos para mejorar nuestra precisión de georreferenciación tenemos un RMS mayor, al momento de la georreferenciación de acumulan el error respecto a la asignación de link en cada punto de control terrestre correspondiente al tamaño de pixel y su coordenada la buena distribución de puntos de control terrestres podemos lograr mayor presión de georreferenciación en nuestros productos finales.

CAPITULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.7. CONCLUSIONES

- ✓ Se establecieron 15 puntos de control terrestre los cuales fueron panelizados para la posterior identificación para el vuelo de dron los mismos que se dividieron en tres grupos: 1ro de 5 puntos de control terrestre, 2do de 10 puntos de control terrestre y 3ro de 15 puntos de control terrestre, siendo importante la buena distribución de los puntos de control terrestre según la topografía del área de estudio.
- ✓ Mediante los tres grupos de puntos de control terrestre se realizó el ajuste de las 1413 imágenes de dron del área de investigación, realizado el ajuste de los diferentes grupos se observa que entre mas puntos de control terrestre se establecieron en nuestra área de estudio mayor fue el error de georreferenciación siendo los resultados los siguientes: 5 puntos de control terrestre error de georreferenciación de 5 cm, con 10 puntos de control terrestre error de georreferenciación de 11 cm, 15 puntos de control terrestre error de georreferenciación de 17 cm.
- ✓ Debemos de considerar que la localidad pucara presentaba una topografía de baja pendiente donde los puntos de control terrestre solo aumentaron el error de la precisión de georreferenciación. Por el hecho que en el procesamiento de las imágenes de dron podemos visualizar nuestros puntos de control terrestre con un pixel de 2.3 cm mismo que ya incurrimos en el error siendo que mientras más nos acercamos a nuestro punto de control terrestre para realizar los link ya tenemos un error acumulado por el tamaño de píxel.
- ✓ Los productos fotogramétricos presentan una precisión de georreferenciación de entre 5 cm y 17 cm mismos que son adecuados a los diferentes proyectos que debemos encarar en la vida profesional.

- ✓ Respecto a la evaluación de la precisión de georreferenciación de los productos fotogramétricos deben cumplir ciertas reglas como tomar en cuenta el tamaño del pixel, también los puntos de control terrestre deben ser distribuidos según la topografía de área de investigación siendo así que la mayor cantidad de puntos de control no nos asegura mayor precisión de georreferenciación. En nuestro caso la menor cantidad de puntos de control terrestre logro la mejor precisión de georreferenciación.
- ✓ Como conclusión podemos mencionar que el dron es una herramienta de trabajo óptimas para la Topografía ayudando al profesional a obtener información del terreno en tiempo reducido.

5.8. RECOMENDACIONES

- ✓ Los puntos de control terrestre deben presentar una correcta identificados mediante la panelización, es necesario para una mejor visualización en el proceso de georreferenciación.
- ✓ Es recomendable utilizar un numero adecuado de puntos de control según el área de estudio ya que más puntos de control en un área pequeña de baja pendiente solo incrementarían en el costo y tiempo del proyecto, pero en lugares accidentados seria lo óptimo.
- ✓ Para la utilización de Dron2Map en su prueba gratuita es un programa que ayuda al procesamiento óptimo de las imágenes de dron logramos procesar las imágenes (1413) en un solo proyecto sin la necesidad de dividirlo. Tomando en cuenta que su prueba gratuita solo dura 16 días.
- ✓ Es recomendable sobrepasar el área de estudio para un mejor recubrimiento con las imágenes de dron, siempre en los bordes del ortomosaico se encuentran las imágenes más distorsionadas por la baja sobreposición.
- ✓ Es recomendable el vuelo de dron la para proyectos carreteros, minería a cielo abierto, prospecciones, apoyo en catástrofes naturales y otros varios usos que se puede aportar con su precisión en centímetros.

CAPITULO VII

7. BIBLIOGRAFIA

- ❖ Centro universitario de Merida, Juan Antonio Pérez Álvarez (2001), Apuntes de fotogrametría II.
- ❖ Civil UAV Assessment Team de la NASA (2006). Earth Observations and the Role of UAVs: A Capabilities Assessment. Version 1.1. Suborbital Science Program Manager NASA, EE.UU.
- ❖ Comunidad de Madrid (2015), Los drones en aplicaciones a la ingeniería civil.
- ❖ Dossier UAV: Beneficios y Limites. José Luis Asensio, Fernández Pérez y Paola Moran. (2016).
- ❖ Estudio Sobre Vehículos Aéreos No Tripulados Y Sus Aplicaciones García, Israel (2011)
- ❖ Facultad de Ingeniería, UBA, Agrimensor, Departamento de Agrimensura, Facultad de Ingeniería, UBA, Agrimensora Instituto de Geodesia y Geofísica Aplicadas Las Heras N° 2214 CABA; Marisa Rosana Ferreira ; Víctor Gerardo Aira (2015) APLICACIONES TOPOGRÁFICAS DE LOS DRONS.}
- ❖ Grupo de robótica y cibernética. Escuela Politécnica de Madrid. P. Gutiérrez, A. Martínez, C. Rossi. (2016)
- ❖ Instituto de Geografía, UNAM, México: Higuera, Armando Peralta (2016), Simposio de Aplicaciones Científicas y Técnicas de los Vehículos no Tripulados.
- ❖ INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION (2011): «Unmanned Aircraft Systems (UAS)». Circular 328, AN/190.}
- ❖ MODULO GEODESIA. Alfredo Solorza M. - Ing. Geomensor España 2010.

- ❖ NEWCOME, L. R. (2004): «Unmanned Aviation. A Brief History of Unmanned Aerial Vehicles». American Institute of Aeronautics and Astronautics. Reston, Virginia (EE.UU.).
- ❖ Universidad de Salamanca, Escuela politécnica Superior de Ávila, Gómez Lahoz, Javier. González Aguilera, Diego. Herrero Pascual, Jesús Sabas. Muñoz Nieto, Ángel Luís (2007), Aplicaciones del Láser 3D a la Ingeniería Civil y el Patrimonio.
- ❖ Universidad de Salamanca. Escuela Politécnica Superior de Ávila. Javier Gómez Lahoz, Diego González Aguilera, Jose Martínez Rubio (2006), Procesado de los datos de la cámara digital, Imágenes Aéreas para el modelizado 3D del patrimonio.
- ❖ Universidad del Azuay, LA TECNOLOGÍA, VENTAJAS Y SUS POSIBLES APLICACIONES. Ing. Rodrigo Pinto D.: 2013.
- ❖ Vehículos aéreos no tripulados para uso civil. Tecnología y aplicaciones. A. Barrientos, J. del Cerro,(2017)

Páginas Web

<https://dronspain.pro/tipos-de-drons-aereos/>

<http://eldrone.es/historia-de-los-drones/>

https://elpais.com/elpais/2017/03/31/ciencia/1490957765_514434.html

<https://hemav.com/el-origen-y-la-historia-de-los-drones/>

<https://learn.arcgis.com/es/projects/get-started-with-dron2map-for-arcgis/lessons/create-3d-data-from-2d-imagery.htm>

<https://noticiadelaciencia.com/art/12949/actuaciones-en-vuelo-de-drons>

<https://pro.arcgis.com/es/pro-app/help/data/imagery/generate-an-orthomosaics-using-the-orthomosaic-wizard.htm>

<https://pro.arcgis.com/es/pro-app/help/data/imagery/adjustment-report.htm>

<http://sitio.cartografia.cl/levantamiento-rtk>

<https://slideplayer.es/slide/3188258/>

<https://support.dronedeploy.com/docs/desktopplanning>

<https://support.pix4d.com>

<https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202558679-Quality-report-specifications#label15>

<https://www.parrot.com/es/pix4d>

<https://www.sirchandler.com.ar/2019/05/la-aplicacion-necesaria-para-volar-un-dron-de-manera-segura-con-los-vientos-uav-forecast/>

https://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/ed610_03.htm

ANEXOS

**ANEXO “A”
REPORTE
PROCESO DRON
CON 5 PUNTOS
DE CONTROL**

**ANEXO “B”
REPORTE
PROCESO DRON
CON 10 PUNTOS
DE CONTROL**

**ANEXO “C”
REPORTE
PROCESO DRON
CON 15 PUNTOS
DE CONTROL**

**ANEXO “D”
ORTOMOSAICOS
CON LA
DISTRIBUCION DE
GCP**

ANEXO “E”
MODELO DIGITAL
DE SUPERFICIE

ANEXO “F”
MODELO DIGITAL
DEL TERRENO

**ANEXO “G”
ESPECIFICACIONES
TÉCNICAS DEL
EQUIPO GPS**