



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Instituto
Geofísico del Perú - IGP



**LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO
MEDIANTE FOTOGRAMETRÍA AÉREA CON DRON Y MEDICIONES GPS EN
LA LOCALIDAD DE SANTA, ANCASH**



**Lima – Perú
2020**



*“Ciencia para protegernos,
Ciencia para avanzar”*

Este informe ha sido elaborado por el Instituto Geofísico del Perú

Créditos:

Presidente Ejecutivo

Dr. Hernando Tavera

Director científico

Dr. Danny Scipión

Autores: Juan Carlos Villegas y Juan Carlos Gómez

Colaboradores: Keiko Moroccoire y Mijaell Berduzco



RESUMEN

En el marco de las actividades del Programa Presupuestal por Resultados PPR068 “Zonas geográficas con gestión de información sísmica”, el Instituto Geofísico del Perú (IGP), viene realizando estudios de caracterización sísmica-geotécnica en el departamento de Ancash, los cuales tienen por finalidad caracterizar las propiedades físico-mecánicas y la obtención de los parámetros elásticos que determinan la rigidez de los suelos. Como parte de estos trabajos se ha realizado el levantamiento topográfico mediante fotogrametría aérea con dron y mediciones geodésicas GPS en la localidad de Santa, Ancash, con el propósito de obtener información del relieve y caracterizar la superficie del terreno con un alto nivel de resolución. El área de estudio es de 1758 ha y comprende el ámbito urbano de la ciudad de Santa (992 ha) y el cauce del río Santa (766 ha). Los trabajos de campo se realizaron desde el 04 al 06 de marzo del 2020, periodo en el que se obtuvieron 1507 fotografías aéreas y se midieron coordenadas GNSS precisas en 17 puntos de fotocontrol. Los productos obtenidos consisten en: 01 Modelo Digital del Terreno (MDT) con una resolución espacial inferior a 30 cm/pixel, que ha permitido generar mapas de la zona de estudio a escala 1:5000 como curvas de nivel con un intervalo de 5 metros y 01 ortomosaico con una resolución espacial inferior a 7.5 cm/pixel. Estos productos permitirán realizar un análisis y evaluación más precisa de la morfología del terreno, así como la elaboración de perfiles topográficos, modelos de inundación de drenaje, entre otros.



ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	6
2	ASPECTOS GENERALES	7
2.1	UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD	7
3	OBJETIVOS	7
3.1	OBJETIVO GENERAL	7
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	7
4	LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO MEDIANTE FOTOGAMETRÍA AÉREA CON DRON Y MEDICIONES DE GPS	7
4.1	PLANIFICACIÓN DEL PLAN DE VUELO Y DE LOS PUNTOS DE FOTOCONTROL	8
4.1.1	<i>Plan del vuelo</i>	8
4.1.2	<i>Puntos de fotocontrol</i>	8
4.2	INSTALACIÓN Y MEDICIÓN DE COORDENADAS GPS PRECISAS EN LOS PUNTOS DE FOTOCONTROL.....	9
4.3	LEVANTAMIENTO FOTOGAMÉTRICO	10
5	METODOLOGÍA PARA EL PROCESAMIENTO DE DATOS	10
5.1	PROCESAMIENTO DE DATOS DE LOS PUNTOS DE FOTOCONTROL GPS	10
5.2	PROCESAMIENTO DE FOTOGRAFÍAS AÉREAS	11
6	RESULTADOS DEL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO	11
6.1	COORDENADAS PRECISAS DE LOS PUNTOS DE FOTOCONTROL GPS	11
6.2	FOTOGAMETRÍA.....	12
6.2.1	<i>Modelo digital del terreno (MDT)</i>	12
6.2.2	<i>Mapa de ortomosaico</i>	13
6.2.3	<i>Mapa de curvas de nivel</i>	14
7	CONCLUSIONES	15
8	RECOMENDACIONES	15
9	REFERENCIAS	15
	ANEXO 2: MARCO CONCEPTUAL	22

RELACIÓN DE FIGURAS

Figura 1. Punto de fotocontrol STA02. Se observa al operador y al equipo GPS rover realizando la adquisición de datos9

RELACIÓN DE TABLAS

Tabla 1. Planes de vuelo para la adquisición de fotografías aéreas. **Error! Bookmark not defined.**

Tabla 2. Programa de ejecución de las misiones de vuelo para la adquisición de fotografías aéreas en la localidad de Santa. 10

Tabla 3. Coordenadas de los puntos de fotocontrol corregidos 12

RELACIÓN DE ANEXOS

Anexo 01: Mapas

- A Ubicación, planes de vuelo y puntos de fotocontrol
- B Ortotomosaico
- C Modelo Digital del Terreno (MDT)
- D Curvas de nivel con intervalo 5 m

Anexo 02: Marco conceptual

- Fotogrametría
- Mediciones GPS en modo Post Procesamiento Cinemático (PPK)
- Puntos de control
- Ortomosaico
- Dron
- Modelo Digital del Terreno (MDT)



1 INTRODUCCIÓN

El Instituto Geofísico del Perú (IGP), en el marco de las actividades del Programa Presupuestal por Resultados PPR068 “Zonas geográficas con gestión de información sísmica”, viene realizando estudios de caracterización sísmica-geotécnica en las localidades de mayor exposición frente a la ocurrencia de grandes sismos en el departamento de Ancash, con la finalidad de caracterizar las propiedades físico-mecánicas y la obtención de parámetros elásticos que determinan la rigidez de los suelos. Estos resultados sirven para determinar el comportamiento dinámico de los suelos que presentarían ante la eventual ocurrencia de un sismo de gran magnitud. En este sentido, con la finalidad de contar con información que permita caracterizar el relieve de la superficie terrestre con un alto nivel de resolución, que sirva de base para el cartografiado geológico, geomorfológico y geodinámico, de la zona de estudio; se ha llevado a cabo el “Levantamiento topográfico de la ciudad de Santa, mediante fotogrametría aérea con dron y mediciones GPS”. El área de estudio abarca una extensión de 1758 ha, y se caracteriza por presentar una topografía relativamente llana, con elevaciones máximas y mínimas de 115 m s.n.m y 0 m s.n.m., respectivamente. Los trabajos realizados se dividieron en 3 etapas: en la primera se realizó la revisión de información de la zona de estudio (mapas, imágenes satelitales, etc) para evaluar la accesibilidad y definir la ubicación de los puntos de fotocontrol GPS y los planes de vuelo; en la segunda, se realizó el trabajo de campo, del 04 al 06 de marzo del 2020, que consistió en la adquisición de 1507 fotografías aéreas con dron y la medición de 17 puntos de fotocontrol GPS. Finalmente, en la tercera etapa se realizó el procesamiento de datos. En este informe se presenta una breve descripción de los trabajos de campo, la metodología de procesamiento de datos y finalmente los productos obtenidos, que consisten en: 01 mapa del modelo digital del terreno (MDT) con una resolución espacial inferior a 30 cm/pixel, que ha permitido generar un mapa de la zona de estudio a escala 1:5000, 01 ortomosaico con resolución inferior a 7.5 cm/pixel y finalmente curvas de nivel con intervalo 5 m. Estos productos permitirán realizar un análisis y evaluación más precisa de la morfología del terreno, así como la elaboración de perfiles, mapas de pendiente, modelos de inundación de drenaje, entre otros. En el Anexo 2 se incluye el marco conceptual con las principales definiciones que comprende el levantamiento fotogramétrico con dron y mediciones GPS.

2 ASPECTOS GENERALES

2.1 Ubicación y accesibilidad

El distrito de Santa se encuentra ubicado en la provincia de Santa en el departamento de Ancash, (Mapa A en Anexo 1), en las coordenadas UTM 762065.78 m E, 9006670.98 m N. Este distrito abarca una superficie de 386 ha y sus límites son: por el Norte con el distrito de Guadalupe, por el Este y Sureste con el distrito de Chimbote, por el Sur con el distrito de Coishco y por el Oeste con el Océano Pacífico. El acceso a la ciudad de Santa, desde Lima, se realiza vía terrestre por la carretera Panamericana norte (PE-1N), en un recorrido de 640 km, durante 6 h 40 minutos aproximadamente.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

- Realizar el levantamiento topográfico en alta resolución del distrito de Santa, Ancash (área 1758 ha), mediante fotogrametría aérea con dron y mediciones GPS para obtener un mapa del modelo digital del terreno y curvas de nivel a escala 1:5000.

3.2 Objetivos específicos

- Obtener un modelo digital del terreno con una resolución espacial inferior a 30 cm/pixel.
- Obtener un ortomosaico con una resolución espacial inferior a 7.5 cm/pixel.
- Obtener curvas de nivel del terreno cada 5 metros.

4 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO MEDIANTE FOTOGRAMETRÍA AÉREA CON DRON Y MEDICIONES DE GPS

La realización del levantamiento topográfico con dron del distrito de Santa se desarrolló en tres fases, las cuales se describen a continuación:



4.1 Planificación del plan de vuelo y de los puntos de fotocontrol

4.1.1 Plan del vuelo

Para llevar a cabo la adquisición de las fotografías aéreas es necesario elaborar el plan de vuelo, a fin de definir los parámetros de adquisición de las imágenes, la extensión y tiempo de vuelo del dron. Para ello se utilizó el software licenciado MapPilot. Considerando la extensión total del área de estudio (1758 ha) y la configuración de la superficie del terreno (llanuras y elevaciones), se dividió el área en 04 sub-áreas o misiones de vuelo (Tabla 1). Para todas las misiones de vuelo se consideraron los siguientes parámetros de configuración del dron y la cámara:

- Resolución de las fotografías: 20 megapíxeles
- Ground Sample Distance (GSD): 8.58 cm/píxel
- Traslape: 65% longitudinal y 65% transversal
- Tiempo de vuelo: no mayor a 20 minutos

Tabla 1. Planes de vuelo para la adquisición de fotografías aéreas.

Código	Área (ha)	Orientación	Coordenadas UTM	
			Este	Norte
Misión -01 (STAM01)	267	NW-SE	763792	9006189
Misión -02 (STAM02)	538	NW-SE	762136	9005571
Misión -03 (STA2M01)	479	NW-SE	762013	9008350
Misión -04 (STA2M02)	88	NW-SE	764406	9010186

4.1.2 Puntos de fotocontrol

En base a información sobre la orografía y accesibilidad a la zona de estudio se establecieron 17 puntos de fotocontrol (Mapa A, en Anexo 1), considerando como mínimo 2 puntos en común por cada misión de vuelo. Para definir la ubicación definitiva de los puntos se consideró que el relieve del terreno sea llano y se encuentre despejado en un radio de 3 metros, a fin de que la marca en el suelo sea visible en las fotografías aéreas.



4.2 Instalación y medición de coordenadas GPS precisas en los puntos de fotocontrol

Con el propósito de georeferenciar las fotografías aéreas se realizó la señalización de 17 puntos de fotocontrol y la respectiva medición de coordenadas. Para la señalización se realizó la verificación in situ de la localización de los puntos planteados en gabinete, para evaluar las condiciones físicas del lugar (presencia de árboles, áreas de cultivo, pendientes, construcciones, propiedad privada, etc). Luego, se procedió a señalar los puntos de fotocontrol utilizando plantillas diana con colores en alto contraste y marcas temporales de yeso en forma de aspa de color blanco con una dimensión de 3 m de longitud y 30 cm de ancho (Figura 1).



Figura 1. Punto de fotocontrol STA02. En la imagen se distingue al operador junto al equipo GPS rover realizando la adquisición de datos.

Para la adquisición de datos GPS se utilizaron receptores GPS base y móvil Trimble R8 y accesorios. La estación base fue ubicada sobre un punto con coordenadas geodésicas conocidas (UTM Este: 762450.3, Norte: 9005645.5) utilizando un trípode y un bastón de 25 cm de altura. Para la estación móvil se



utilizó un bastón de altura fija de 1.80 m (Figura 1). El registro de datos en las estaciones base y móvil se realizó a una tasa de muestreo de 1 seg., durante lapsos de 9 horas y de 10 minutos, respectivamente. Posteriormente, estos datos son procesados.

4.3 Levantamiento fotogramétrico

El levantamiento fotogramétrico se realizó utilizando un dron modelo Phantom 4 Pro y un controlador remoto con el software licenciado MapPilot. Las 04 misiones de vuelo se realizaron del 4 al 6 marzo del 2020 (Tabla 2), periodo en el que se obtuvieron un total de 1507 fotografías aéreas. Todos los vuelos se realizaron a partir de las 9 hasta las 15 horas aproximadamente, ya que durante este intervalo se cuenta con mejor luz del día y vientos de baja velocidad.

Tabla 2. Programa de ejecución de las misiones de vuelo para la adquisición de fotografías aéreas en la localidad de Santa

Fecha	Misiones	Duración	Hora Inicio	Hora Final
04/03/2020	Misión 1 (STAM01)	03:48	11:07 a. m.	02:55 p. m.
05/03/2020	Misión 2 (STAM02)	05:07	09:19 a. m.	02:26 p. m.
05/03/2020	Misión 3 (STA2M01)	06:00	08:30 a. m.	02:30 p. m.
06/03/2020	Misión 4 (STA2M02)	01:15	08:00 a. m.	09:15 a. m.

5 METODOLOGÍA PARA EL PROCESAMIENTO DE DATOS

5.1 Procesamiento de datos de los puntos de fotocontrol GPS

Para el cálculo de la corrección de coordenadas de los puntos de fotocontrol se utilizó el software licenciado Trimble Business Center (TBC). Este software realiza el cálculo de las coordenadas Este, Norte y Elevación, mediante la determinación de líneas de base entre la estación GPS base y los puntos GPS temporales. Para ello el software corrige el retraso de la señal producido por la tropósfera mediante el modelo Hopfield (1971) y resuelve las ambigüedades utilizando los parámetros orbitales de los satélites de las efemérides precisas del servicio internacional de GNSS (IGS) (Trimble survey división, 2012). Como resultado se obtienen las coordenadas corregidas y la precisión final de la posición para cada componente.



5.2 Procesamiento de fotografías aéreas

Debido a la extensión del área de estudio (1597 ha), el procesamiento de las fotografías aéreas fue dividido en dos zonas: el ámbito urbano (992 ha) y el cauce del río Santa (766 ha). Las dos zonas fueron procesadas en el software licenciado Pix4D en 3 etapas. En la primera se realizó la calibración automática de cámaras, que consiste en la búsqueda de puntos en común entre las fotografías. Este proceso permitió generar una nube de puntos de enlace de 1,100,040 y 604,999 para el ámbito urbano y cauce del río Santa, respectivamente. En la segunda etapa se realizó la densificación de la nube de puntos, logrando generar 12 puntos/m². Luego, se realizó la clasificación de la nube de puntos, considerando las siguientes categorías: vegetación, edificios y terreno, posteriormente se realizó la clasificación manual para asignar una clase a los puntos que no se clasificaron correctamente. Finalmente, se realizó la creación del Modelo Digital del Terreno (MDT) y la generación de un ortomosaico. Posteriormente, a partir del MDT y haciendo uso del software libre Qgis 3.10, se generaron curvas de nivel a un intervalo de 5 m.

6 RESULTADOS DEL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

6.1 Coordenadas precisas de los puntos de fotocontrol GPS

Las coordenadas UTM corregidas de los puntos de fotocontrol se muestran en la Tabla 3 y su ubicación referencial en el Mapa A del Anexo 1. La precisión de los resultados obtenidos en la componente horizontal varía entre 0.3 cm a 0.5 cm y en la componente vertical entre 0.4 cm a 0.8 cm. Debido a que la estación base (SANT-BASE) fue calculada respecto a una estación base de referencia regional ubicada a 300 km de distancia, su precisión en las componentes horizontal y vertical es de 2.7 cm y 9.6 cm, respectivamente. Para el propósito de este estudio estos valores son bastante óptimos.



Tabla 3. Coordenadas de los puntos de fotocontrol corregidos

ID	Localidad: Santa Provincia: Santa Región: Ancash Coordenadas UTM Datum: WGS 1984 Zona: 17 (Sur)				
	Este (Metro)	Norte (Metro)	Elevación (Metro)	Precisión H	Precisión V
BASE	762450.275	9005645.496	47.502	0.027	0.096
STA01	763657.699	9004982.397	43.001	0.003	0.004
STA02	762391.339	9006619.855	35.429	0.003	0.004
STA03	763175.139	9005183.894	41.591	0.003	0.004
STA04	764125.783	9006882.003	52.751	0.004	0.006
STA05	764490.267	9005965.895	62.091	0.005	0.005
STA06	763412.441	9006068.136	46.481	0.003	0.004
STA07	762157.422	9005505.966	35.090	0.003	0.004
STA08	762275.198	9007029.450	35.749	0.003	0.004
STA09	760815.724	9006179.856	27.935	0.003	0.005
STA10	761744.777	9003696.063	26.667	0.004	0.006
STA11	761517.983	9004349.573	33.088	0.003	0.005
STA201	763564.716	9009849.014	52.921	0.004	0.008
STA202	764692.994	9009943.133	56.794	0.005	0.008
STA203	762859.005	9008835.21	44.418	0.004	0.007
SAT205	760586.178	9007525.313	30.109	0.005	0.007
STA206	761017.473	9007648.585	30.282	0.004	0.005

6.2 Fotogrametría

Los resultados obtenidos del procesamiento fotogramétrico para la localidad de Santa son los siguientes:

6.2.1 Modelo digital del terreno (MDT)

Se han obtenido dos modelos digitales del terreno (MDT), uno para la zona del ámbito urbano de Santa (992 ha) con una resolución espacial de 28.8 cm/píxel, y otro para la zona del cauce del río Santa (766 ha) con una resolución de 29.3 cm/píxel. A partir de estos modelos se ha generado un mapa a escala 1/5000 (Mapa B en Anexo 1). Los modelos contienen información de la superficie del terreno en coordenadas X, Y y Z, libre de edificios y árboles. En general, el relieve



de la zona de estudio es llano con algunas zonas elevadas. En el mapa B del Anexo 1 se muestra el mapa del MDT. Las tonalidades de marrón oscuro a verde claro indican las zonas de mayor a menor elevación, respectivamente. Para la zona del cauce del río se observa que localidades de San Juanito y Santa Rosa se ubican en zonas relativamente elevadas, en las faldas de pequeñas montañas, cuyas elevaciones en promedio son de 60 y 90 m s.n.m., respectivamente. Asimismo, el Centro Poblado de Río Seco, ubicado en el SurEste de la zona de estudio se encuentra a una elevación promedio de 75 m s.n.m. Por otro lado, las localidades de Santa, San Luis y Huaca III se encuentran a una elevación promedio de 30 a 40 m s.n.m. Finalmente, se observa que la zona del río Santa, en una extensión aproximada de 6000 m de longitud presenta un cambio de elevación de 40 m aproximadamente siendo de 60 m s.n.m en la parte alta del río y de 20 m s.n.m en la parte baja cerca de la desembocadura.

6.2.2 Mapa de ortomosaico

Se ha generado un mapa de ortomosaico del distrito de Santa con una resolución espacial de 7.3 cm/pixel a escala 1:5000 (Mapa C en Anexo 1), el cual permite identificar claramente calles, viviendas, árboles, puentes, autos, parques, muros de piedra, bifurcaciones del río, y objetos de hasta 25 cm de longitud. En el mapa se observan diversos tonos de color, los cuales reflejan el predominio de objetos característicos en el área de estudio. Las tonalidades verdes representan las áreas de cultivo y abarcan una extensión aproximada de 1410 ha, lo que representa un 80% del área de estudio; las tonalidades color plomo representan las edificaciones, calles, canales de agua y el río Santa, y finalmente, las tonalidades marrón las lomas y caminos de trocha. Se observa también que el efecto de sombra, producido por árboles y construcciones es mínimo.

De acuerdo a las tonalidades identificadas en el mapa, la localidad de Santa presenta una importante concentración urbana (tonalidad ploma), abarcando 191 ha aproximadamente. Los Centros Poblados de Santa Rosa y San Luis abarcan una extensión de 38 ha y 23 ha, respectivamente. Finalmente, es importante destacar la alta resolución de este producto (7.5 cm/pixel), en comparación con la que se puede obtener, por ejemplo, con las imágenes del satélite PERU-SAT, cuya resolución es de 70 cm/pixel. Este producto de mayor resolución permitirá efectuar estudios a nivel local de mayor detalle y mejor precisión.



6.2.3 Mapa de curvas de nivel

A partir de los modelos digitales del terreno se elaboró un mapa de curvas de nivel (cada 5 metros) a escala 1:5000 (Mapa D Anexo 1). A fin de obtener curvas representativas de la superficie del terreno, se efectuó la superposición de las curvas sobre el ortomosaico para verificar su correspondencia con el terreno y no a construcciones ni vegetación. Para ello, se realizó el suavizado de las curvas en el software libre Qgis, el cual genera una nueva capa vectorial con un mayor número de nodos o vértices. Cuanto mayor es el número de iteraciones, las geometrías resultantes son más suaves. Para este estudio se aplicaron 5 iteraciones.

Finalmente, el mapa de curvas de nivel permite identificar claramente lomas en el margen derecho del río Santa que corresponden a los centros poblados de Santa Rosa y San Juanito pertenecientes al departamento de La Libertad, y que se ubican al Norte y NorEste del área de estudio, con elevaciones máximas de 50 a 115 m s.n.m. También se observa la presencia de lomas al NorEste de la ciudad de Santa, sobre la cual se ubica el centro poblado Rio Seco (elevaciones entre 60 a 80 m s.n.m.). Las elevaciones intermedias corresponden al centro urbano de Santa y cauce del río Santa, estas oscilan entre 30 a 50 m s.n.m. en esta área las curvas se encuentran separadas, lo cual indica que el relieve de la zona es llano. Por ultimo las cotas bajas (0 a 25 m s.n.m.) corresponden a la zona de desemboque del río Santa.



7 CONCLUSIONES

- Se ha realizado el levantamiento topográfico de alta resolución en el distrito de Santa y el sector del cauce del río del mismo nombre. El levantamiento se ha efectuado mediante fotogrametría aérea con dron y mediciones GPS, lo cual ha permitido obtener un modelo digital del terreno con una resolución espacial de 29 cm/pixel y un ortomosaico con una resolución espacial de 7.3 cm/pixel, que han sido plasmados en mapas a escala 1:5000. El área levantada cubre una extensión de 1758 ha.
- Se ha elaborado un mapa de curvas de nivel del terreno con intervalo de 5 metros a escala 1:5000. Los resultados muestran elevaciones máximas en el margen derecho del río Santa, que corresponden a pequeñas montañas en cuyas faldas se ubican las localidades de San Juanito y Santa Rosa, un relieve generalmente llano en donde se asienta la ciudad de Santa y un bajo nivel de pendiente hacia el Oeste.
- Estos productos tienen una mayor resolución que los productos generados por el satélite PERU-SAT, cuya resolución es de 70 cm/pixel. Al obtener una mejor resolución es posible identificar una mayor cantidad de objetos en el área de estudio (montículos de tierra en los márgenes del río, arbustos, canales de agua, entre otros), con lo cual es posible realizar un análisis y modelos de mayor detalle y mejor precisión.

8 RECOMENDACIONES

- Antes de realizar el vuelo se recomienda realizar la verificación de las condiciones meteorológicas de la zona de estudio y el índice geomagnético (kp), éste índice se calcula a partir de las variaciones del campo magnético. La verificación del índice geomagnético se realiza mediante la aplicación Solar Activity (<https://www.spaceweatherlive.com/>).
- Evitar volar el dron en áreas de concentraciones de personas, en condiciones nocturnas y a menos de 4 km de un aeródromo.

9 REFERENCIAS

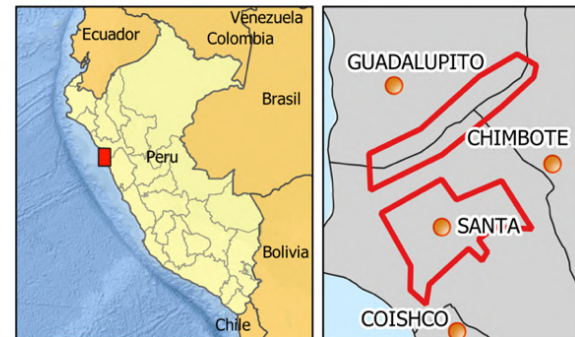
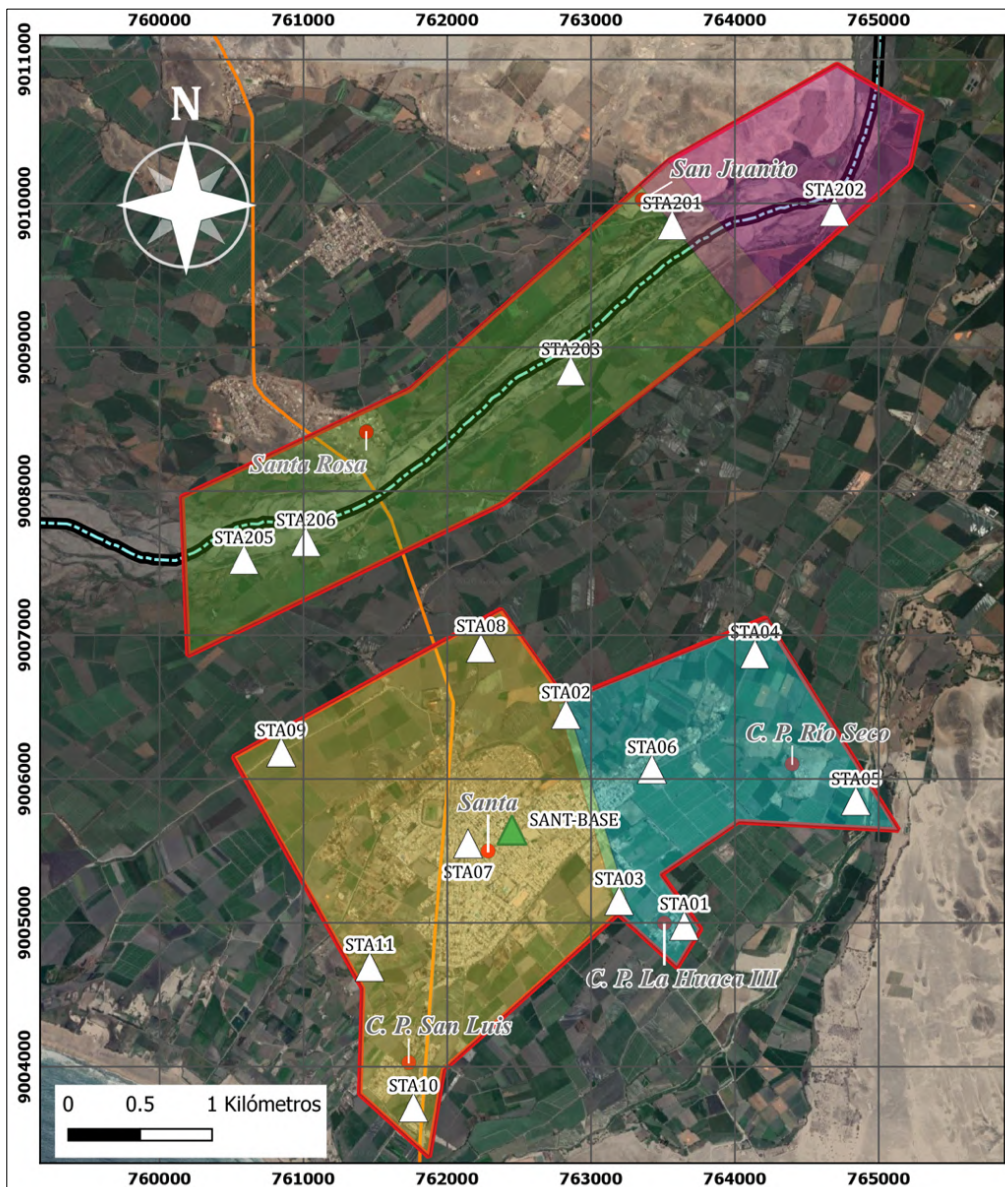
- Doyle, F. (1978). Digital Terrain Models: An Overview*. Photogrammetric engineering and remote sensing, 44, 1481–1485. Recuperado de https://www.asprs.org/wp-content/uploads/pers/1978journal/dec/1978_dec_1481-1485.pdf
- Hoffmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., & Collins, J. (2001). Global Positioning System: Theory and Practice. Viena, New York: Springer Vienna.
- Hopfield, H. S. (1971). Tropospheric Effect on Electromagnetically Measured Range: Prediction from Surface Weather Data. Radio Science, 6(3), 357–367. <https://doi.org/10.1029/rs006i003p00357>
- Luo, X. (2013). GPS Stochastic Modelling. Springer Theses, . <https://doi.org/10.1007/978-3-642-34836-5>
- PIX4D. (2017, 14 diciembre). Offline Getting Started and Manual (pdf). Recuperado 12 diciembre, 2019, de <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/204272989-Offline-Getting-Started-and-Manual-pdf>
- RAE. (2019). Dron. Recuperado 6 noviembre, 2019, de <https://dle.rae.es/?id=ED2QqnQ>
- Trimble survey division. (2012, noviembre). Trimble HD-GNSS processing. Recuperado 12 diciembre, 2019, de <https://community.trimble.com/docs/DOC-1923>.
- Us Army Corps Of Engineers. (2002). Engineering and Design: Photogrammetric Mapping (Engineer Manual EM 1110-1-1000). Recuperado de <https://books.google.com.pe/books?id=PtLTkwEACAAJ>
- USGS. (2014). Ground Control Points. Recuperado 12 noviembre, 2019, de <https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/ground-control-points>



ANEXOS

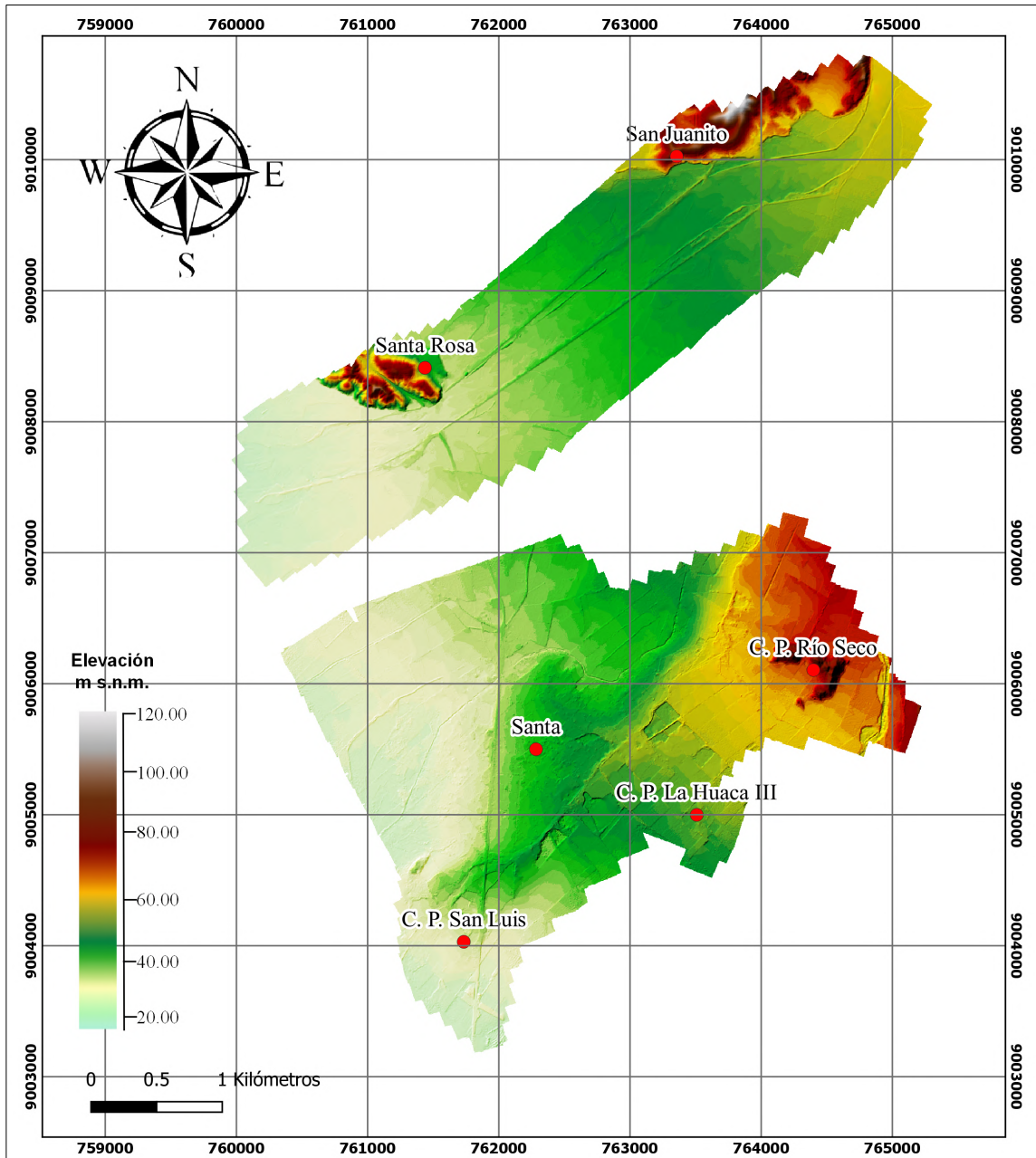


ANEXO 1



LEYENDA	
Carretera Panamericana Norte	Áreas de estudio
Limite departamental	Planes de vuelo
Río Santa	Misión 1 (STAM01)
Centros poblados	Misión 2 (STAM02)
Punto base (SANT-BASE)	Misión 3 (STA2M01)
Puntos de fotocontrol	Misión 4 (STA2M02)

INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ SUBDIRECCIÓN DE CIENCIAS DE LA TIERRA SÓLIDA	
PROGRAMA PRESUPUESTAL POR RESULTADOS PPR068 Zonas Geográficas con gestión de Información Sísmica	
Generación de Estudios Territoriales de Peligro	Zonificación sísmica - geotécnica Ciudad Santa - Ancash
MAPA DE UBICACIÓN, PLANES DE VUELO Y PUNTOS DE FOTOCONTROL	
Responsable del proyecto: Hernando Tavera	Ejecución del estudio: Juan Carlos Villegas Lanza
Elaborado por: Keiko Moroccoire/ Mijaell Berduzco	Escala: 1/45,000
Datum: WGS84 Proyección: UTM Zona 17S	Año: 2020
Mapa: A	

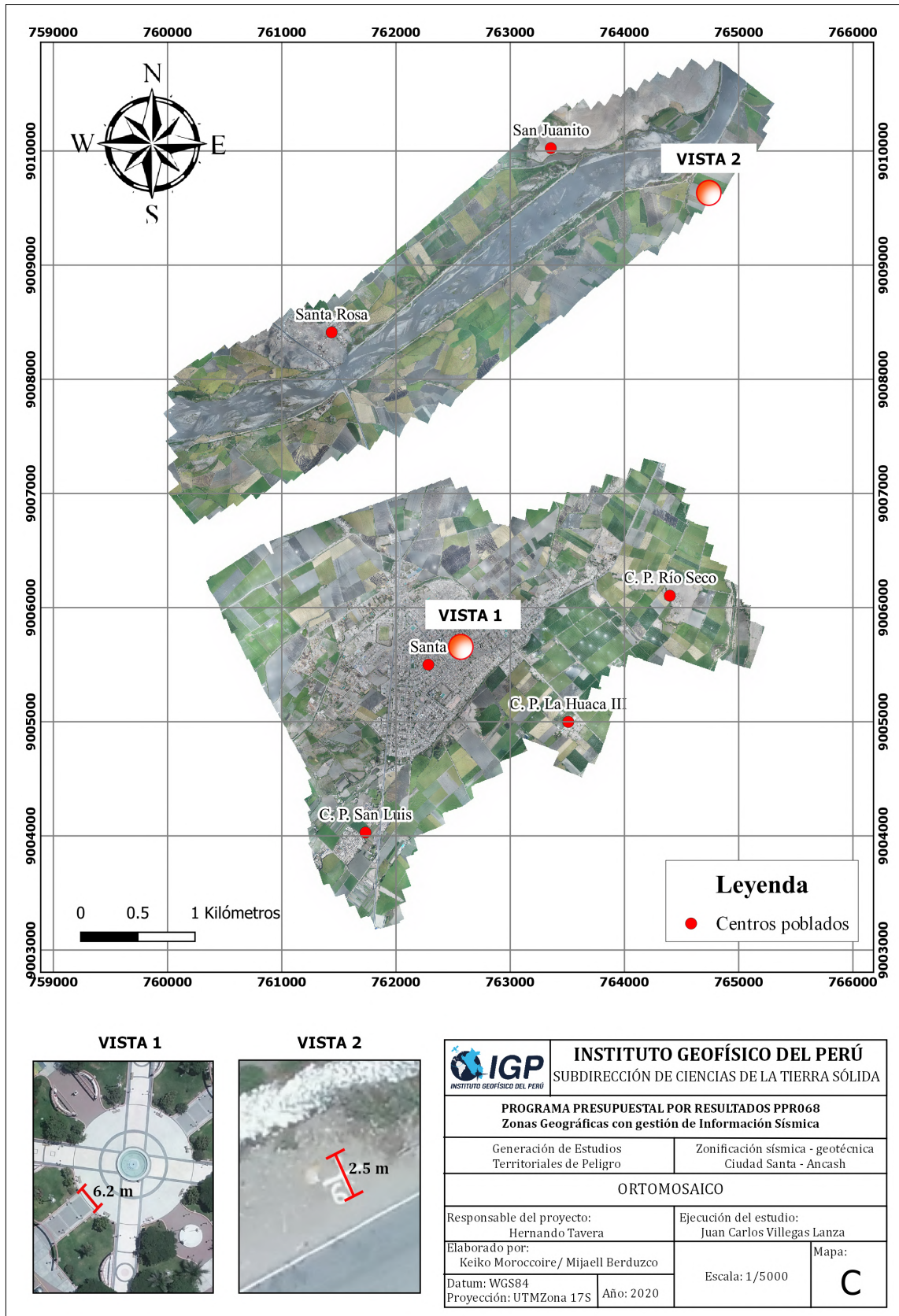


Leyenda

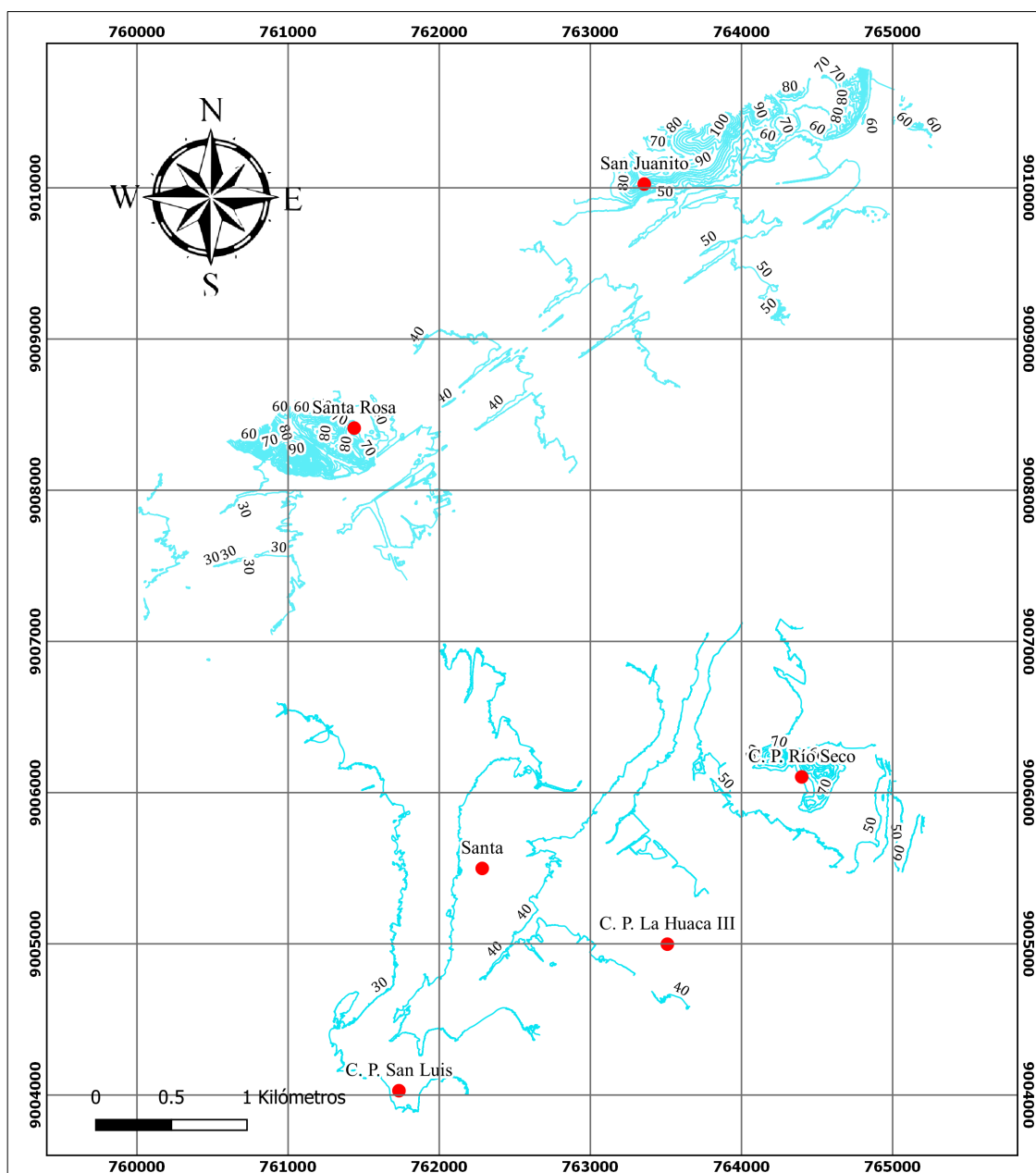
● Centros poblados

 INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ SUBDIRECCIÓN DE CIENCIAS DE LA TIERRA SÓLIDA		
PROGRAMA PRESUPUESTAL POR RESULTADOS PPR068 Zonas Geográficas con gestión de Información Sísmica		
Generación de Estudios Territoriales de Peligro	Zonificación sísmica - geotécnica Ciudad Santa - Ancash	
MODELO DIGITAL DEL TERRENO (MDT)		
Responsable del proyecto: Hernando Tavera	Ejecución del estudio: Juan Carlos Villegas Lanza	
Elaborado por: Keiko Moroccoire/ Mijaell Berduzco	Escala: 1/5,000	
Datum: WGS84 Proyección: UTMZona 17S		Año: 2020
		Mapa: B

Levantamiento topográfico mediante fotogrametría aérea con dron y mediciones de GPS en la localidad de Santa



Levantamiento topográfico mediante fotogrametría aérea con dron y mediciones de GPS en la localidad de Santa



Leyenda
 ● Centros poblados

 INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ SUBDIRECCIÓN DE CIENCIAS DE LA TIERRA SÓLIDA	
PROGRAMA PRESUPUESTAL POR RESULTADOS PPR068 Zonas Geográficas con gestión de Información Sísmica	
Generación de Estudios Territoriales de Peligro	Zonificación sísmica - geotécnica Ciudad Santa - Ancash
CURVAS DE NIVEL CON INTERVALO 5 m	
Responsable del proyecto: Hernando Tavera	Ejecución del estudio: Juan Carlos Villegas Lanza
Elaborado por: Keiko Moroccoire/ Mijaell Berduzco	
Datum: WGS84 Proyección: UTMZona 17S	Mapa: Escala: 1/5,000 D
Año: 2020	



ANEXO 2: MARCO CONCEPTUAL

Fotogrametría

La fotogrametría se define como la disciplina que permite determinar las características cuantitativas y cualitativas de objetos y superficies mediante el análisis de fotografías. Las características cualitativas como la forma, el patrón, el tono y la textura de la zona en estudio, se determinan a partir de la observación de las fotografías; mientras que las características cuantitativas como el tamaño, la orientación y la posición de los objetos, se determinan con mediciones en las fotografías (Us Army Corps Of Engineers, 2002). El principio fundamental de la fotogrametría es la triangulación, al obtener como mínimo dos fotografías continuas de la zona de interés se generan puntos en común, que son identificados y sirven para generar una nube de puntos a partir del cual se realiza la representación del terreno en un sistema de coordenadas X, Y y Z (PIX4D, 2017).

Mediciones GPS en modo Post Procesamiento Cinemático (PPK)

Este método emplea una estación GPS base y una o más estaciones móviles (rover), donde la estación móvil realiza mediciones GPS en diversos puntos dentro del área de estudio. La precisión de los resultados obtenidos en esta metodología es de 5 mm en las componentes horizontales y 5 mm en la componente vertical, sin embargo, la precisión varía en función de la distancia entre la estación GPS base y las estaciones móviles siendo mayor cuando la distancia entre ambos es inferior a 20km (Luo, 2013). El levantamiento en modo post-proceso cinemático se inicia cuando ambas estaciones (base y móvil) permanecen estáticas durante un periodo (típicamente 8 min) suficiente como para resolver las ambigüedades entre la señal emitida por los satélites y la generada en los receptores (Hoffman-Wellenhof et al., 2001). Finalizado este proceso, la estación móvil puede moverse de manera independiente y registrar posiciones. Posteriormente, la corrección de los datos GPS se realiza en gabinete.

Puntos de control

Un punto de control es un lugar físico en la tierra del cual se conoce su posición en un sistema de coordenadas (USGS, 2014); estos puntos deben ser visibles en las fotografías aéreas ya que permiten georreferenciar la zona de estudio. Por ejemplo, se puede utilizar como punto de fotocontrol: plantillas diana; marcas con pintura, yeso, y detalles de construcciones.

Ortomosaico

Un ortomosaico es una fotografía aérea compuesta por el conjunto de fotografías adquiridas en campo, las cuales se unen por un proceso fotogramétrico y se corrigen y escalan con un software de procesamiento fotogramétrico (Por ej.: PIX4D, Agisoft, etc).

Dron

También llamado Vehículo Aéreo no Tripulado (UAV), es una aeronave que tiene la habilidad de volar sin piloto a bordo controlada por ondas de radio mediante un control remoto localizado en tierra (RAE, 2019). El dron está equipado con accesorios tales como: cámara, luces led, baterías, hélices, protectores, entre otros; los cuales permiten realizar la adquisición de fotografías aéreas de la zona de estudio.

Modelo Digital del Terreno (MDT)

Se define como un conjunto de datos que representan la distribución espacial de las características físicas del terreno, tales como elevación, morfología, entre otros. Este modelo es una representación de la topografía constituido por una nube de puntos proyectados en un sistema de coordenadas X, Y y Z (Doyle, 1978).

