



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Instituto
Geofísico del Perú - IGP

IGP Instituto
Geofísico
del Perú

**LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO
MEDIANTE FOTOGRAMETRÍA AÉREA CON DRON Y MEDICIONES GNSS EN
LA LOCALIDAD DE VIRÚ, LA LIBERTAD**



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 Moroccore 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 La Libertad, 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 GNSS en la localidad de Virú, La Libertad, 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 1380 ha y comprende el ámbito urbano y rural de la localidad. Los trabajos de campo se realizaron los días 10 y 11 de marzo del 2020, periodo en el que se obtuvieron 1263 fotografías aéreas y se midieron coordenadas GNSS precisas en 14 puntos de fotocontrol. Los productos obtenidos consisten en: 01 Modelo Digital del Terreno (MDT) con una resolución espacial de 29.4 cm/píxel, 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 de 7.35 cm/píxel. 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 FOTOGRAMETRÍA AÉREA CON DRON Y MEDICIONES DE GNSS	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 GNSS PRECISAS EN LOS PUNTOS DE FOTOCONTROL	9
4.3	LEVANTAMIENTO FOTOGRAMÉTRICO	10
5	METODOLOGÍA PARA EL PROCESAMIENTO DE DATOS	10
5.1	PROCESAMIENTO DE DATOS DE LOS PUNTOS DE FOTOCONTROL GNSS	10
5.2	PROCESAMIENTO DE FOTOGRAFÍAS AÉREAS	11
6	RESULTADOS DEL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO	11
6.1	COORDENADAS PRECISAS DE LOS PUNTOS DE FOTOCONTROL GNSS	11
6.2	FOTOGRAMETRÍA	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>	13
7	CONCLUSIONES	14
8	RECOMENDACIONES	15
9	REFERENCIAS	15
	ANEXO 2: MARCO CONCEPTUAL	21

RELACIÓN DE FIGURAS

Figura 1. Punto de fotocontrol VIR12. Se observa al operador y al equipo GNSS rover realizando la adquisición de datos.9

RELACIÓN DE TABLAS

Tabla 1. Planes de vuelo para la adquisición de fotografías aéreas. 8

Tabla 2. Programa de ejecución de las misiones de vuelo para la adquisición de fotografías aéreas en la localidad de Virú. 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 GNSS 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 La Libertad, 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 localidad de Virú, mediante fotogrametría aérea con dron y mediciones GNSS”. El área de estudio abarca una extensión de 1380 ha, y se caracteriza por presentar una topografía relativamente llana, con elevaciones máximas y mínimas de 180 m s.n.m y 75 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 GNSS y los planes de vuelo; en la segunda, se realizó el trabajo de campo, el día 09 de marzo del 2020, que consistió en la adquisición de 1263 fotografías aéreas con dron y la medición de 14 puntos de fotocontrol GNSS. 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 de 29.4 cm/pixel, que ha permitido generar un mapa de la zona de estudio a escala 1:5000, 01 ortomosaico con resolución espacial de 7.35 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 GNSS.

2 ASPECTOS GENERALES

2.1 Ubicación y accesibilidad

El centro urbano de Virú se encuentra ubicado en el distrito y provincia de Virú, en el departamento de La Libertad, (Mapa A en Anexo 1), en las coordenadas UTM 747512.21 m E, 9069156.22 m N, a una elevación promedio de 70 m s.n.m. Esta localidad abarca una superficie de 441 ha y sus límites son: por el Sur con el centro poblado Huaca Larga, por el NorOeste con el centro poblado de Santa María, y por el Este y Oeste con el sector agrícola de Virú. El acceso a esta localidad, desde Lima se realiza vía terrestre por la carretera Panamericana Norte (PE-1N), en un recorrido de 526 km, durante 8 h 15 minutos aproximadamente.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

- Realizar el levantamiento topográfico en alta resolución de la localidad de Virú, La Libertad (área 1380 ha), mediante fotogrametría aérea con dron y mediciones GNSS 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 de 29.4 cm/pixel.
- Obtener un ortomosaico con una resolución espacial inferior a 7.35 cm/pixel.
- Obtener curvas de nivel del terreno cada 5 metros.

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

La realización del levantamiento topográfico con dron de la localidad de Virú 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 que la extensión total del área de estudio es de 1380 ha y la configuración de la superficie del terreno (zonas llanuras), se dividió la zona de estudio en 3 sub-áreas o misiones (Tabla 1). Se consideraron los siguientes parámetros para el levantamiento:

- Resolución de las fotografías: 20 megapíxeles
- Ground Simple Distance (GSD): 8.58 cm/pixel
- 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 (VRUM01)	382	NE-SW	747500	9069158
Misión -02 (VRUM02)	350	NE-SW	746009	9068701
Misión -03 (VRUM03)	419	NE-SW	744521	9067866

4.1.2 Puntos de fotocontrol

En base a información sobre la orografía y accesibilidad a la zona de estudio se establecieron 14 puntos de fotocontrol (Mapa A, en Anexo 1), considerando como mínimo 2 puntos en común por cada plan de vuelo. Para definir la ubicación 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 GNSS precisas en los puntos de fotocontrol

Con el propósito de georreferenciar las fotografías aéreas se realizó la señalización de 14 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 VIR12. Se observa al operador y al equipo GNSS rover realizando la adquisición de datos.

Para la adquisición de datos GNSS se utilizaron receptores GNSS base y móvil Trimble R8 y accesorios. La estación base fue ubicada sobre un punto con coordenadas conocidas (UTM Este: 747456.9, Norte: 9069172.0) utilizando un trípode y un bastón de 25 cm de altura, mientras que para la estación móvil se utilizó un bastón de 1.80 m de altura (Figura 1). El registro de datos en la estación base y en la estación móvil se realizó a una tasa de muestreo de 1 segundo durante 10 horas y de 1 segundo durante 10 minutos, respectivamente.

4.3 Levantamiento fotogramétrico

El levantamiento fotogramétrico se realizó utilizando un dron modelo Phantom 4 Pro y un controlador remoto con el software MapPilot. Las 3 misiones de vuelo se realizaron los días 10 y 11 de marzo del 2020 (Tabla 2), periodo en el que se obtuvieron un total de 1263 fotografías aéreas. Todos los vuelos se realizaron a partir de las 9 hasta las 15 horas aproximadamente, ya que durante este intervalo de tiempo se cuenta con mejor luz del día y vientos débiles.

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

Fecha	Misiones	Duración	Hora Inicio	Hora Final
10/03/2020	Misión - 01 (VRUM01)	04:00:00	09:00:00	13:00:00
10/03/2020	Misión - 02 (VRUM02)	01:45:00	14:30:00	16:15:00
11/03/2020	Misión - 03 (VRUM03)	02:00:00	09:00:00	11:00:00

5 METODOLOGÍA PARA EL PROCESAMIENTO DE DATOS

5.1 Procesamiento de datos de los puntos de fotocontrol GNSS

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 GNSS base y los puntos GNSS 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

Las fotografías aéreas 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 1,140,78 puntos de enlace. En la segunda etapa se realizó la densificación de la nube de puntos, logrando generar 11.6 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 2.20, 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 GNSS

Las coordenadas UTM corregidas de los puntos de fotocontrol se muestran en la Tabla 3. La precisión de los resultados en la componente horizontal varía entre 0.3 cm a 0.6 cm y en la componente vertical entre 0.4 cm a 1.1 cm. Debido a que la estación base (VIRU-BASE) fue calculada respecto a una estación de referencia regional ubicada a 300 km de distancia, su precisión es de 2.6 cm y 8.3cm para las componentes horizontal y vertical, respectivamente. Para propósitos de este estudio estos valores son óptimos.



Tabla 3. Coordenadas de los puntos de fotocontrol corregidos

Localidad: Virú Provincia: Virú Región: La Libertad Coordenadas UTM Datum: WGS 1984 Zona: 17 (Sur)					
ID	Este (Metro)	Norte (Metro)	Elevación (Metro)	Precisión Horizontal (Metro)	Precisión Vertical (Metro)
VIRU-BASE	747456.995	9069172.074	97.458	0.026	0.083
VIR01	746956.790	9068628.365	82.266	0.003	0.004
VIR02	746615.237	9069725.060	78.248	0.003	0.004
VIR04	747890.594	9069987.537	88.011	0.003	0.004
VIR05	748367.800	9068619.195	87.448	0.003	0.004
VIR06	747685.745	9067856.206	81.802	0.004	0.004
VIR07	744608.900	9068852.600	65.282	0.004	0.006
VIR08	745104.774	9068439.308	70.779	0.004	0.005
VIR09	746150.147	9069101.942	79.710	0.003	0.004
VIR10	745713.679	9067008.979	74.631	0.004	0.007
VIR11	743220.818	9069174.129	66.898	0.006	0.008
VIR12	743668.489	9067812.008	63.074	0.006	0.007
VIR13	744570.216	9068039.068	70.808	0.005	0.011
VIR14	744927.080	9067244.323	71.096	0.004	0.008

6.2 Fotogrametría

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

6.2.1 Modelo digital del terreno (MDT)

Se ha obtenido un modelo digital del terreno (MDT) para la localidad de Virú (1380 ha) con una resolución espacial de 29.4 cm/píxel; a partir de este modelo se ha generado un mapa a escala 1:5000 (Mapa B en Anexo 1). Este modelo contiene información sobre la superficie del terreno en coordenadas X, Y, Z libre de edificios y árboles. Las tonalidades que se observan en el mapa B indican las elevaciones del terreno, estas varían de tonos verdes (para elevaciones < 100 m s.n.m.) a



marrones (para elevaciones entre 115 a 158 m s.n.m.), concentrándose en el sector de la Huaca Santa Clara al Este del mapa, identificada como una zona histórica monumental considerada como Patrimonio Cultural de la Nación; las tonalidades verdes se observan en todo el mapa abarcando los centros urbanos de Virú, Puente Virú y el Centro poblado Santa María, estas zonas presentan elevaciones promedio de 85, 60 y 57 m s.n.m. respectivamente. Asimismo, en la zona SurOeste del mapa se observan tonalidades verdes oscuras que representan a las Huacas Santa Rosa y Blanca que tienen una elevación máxima de 85 y 80 m s.n.m. respectivamente.

6.2.2 Mapa de ortomosaico

Se ha generado un mapa de ortomosaico del centro poblado de Virú con una resolución espacial de 7.35 cm/píxel a escala 1:5000 (Mapa C en Anexo 1), el cual permite identificar claramente: calles, viviendas, árboles, canales de agua, autos, parques, muros de piedra y objetos de hasta 25 cm de longitud, entre otros. En el mapa se observan diversas tonalidades que reflejan el predominio de objetos y de áreas en la zona de estudio. Se distinguen áreas de cultivo, viviendas, caminos, canales de regadío, el río, entre otros. En el área de estudio predominan las zonas de cultivo abarcando un área de 1000 ha aproximadamente. Asimismo, se observa que el efecto de sombra producido por árboles y construcciones es mínimo. En base a la identificación de objetos y tonalidades en el mapa se ha estimado el área aproximada que abarcan los centros poblados de Virú, Puente Virú y Santa María, siendo de 177 ha, 165 ha y 30 ha respectivamente. Finalmente, es preciso destacar la alta resolución de este producto comparado con la del satélite peruano PERU-SAT, cuya resolución es de 70 cm/píxel, siendo que la mejora en la resolución espacial de la ortofoto es del 90%.

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 para la localidad de Virú (Mapa D Anexo 1). A fin de obtener curvas representativas de la superficie del terreno, estas fueron superpuestas sobre el ortomosaico para verificar su correspondencia con el terreno y no a construcciones ni a vegetación. Para ello, se realizó el suavizado de las



curvas en el software libre Qgis, el cual genera una nueva capa vectorial con los mismos objetos de la capa de entrada, pero 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 obtenido permite identificar claramente una loma convexa al Este del centro urbano de Virú, el cual corresponde a la Huaca Santa Clara con elevaciones que oscilan entre 95 m s.n.m. (pie de la loma) a 164 m s.n.m (cima de la loma). Las zonas urbana y rural de Virú se encuentran a elevaciones intermedias de 70 m s.n.m. a 90 m s.n.m. Las zonas de cultivo y centros poblados de Puente Virú y Santa María localizados al SurEste del mapa se encuentran a elevaciones bajas 57 m s.n.m. a 65 m s.n.m.; las curvas de nivel espaciadas en estas dos últimas zonas indican que el relieve es llano. Por último, se observa que el río Virú cruza el área de estudio de NorEste a SurOeste presentando curvas de nivel de baja sinuosidad y un cambio de elevación de 30 m, de 90 a 60 m, en una longitud de 5.5 km.

7 CONCLUSIONES

- Se ha realizado el levantamiento topográfico en el centro poblado de Virú, mediante fotogrametría con dron y mediciones GNSS, el cual ha permitido generar un mapa del modelo digital del terreno a escala 1:5000 con una resolución espacial de 29.4 cm/píxel y un ortomosaico con una resolución inferior a 7.4 cm/píxel.
- Estos productos tienen una mayor resolución que los productos generados por el satélite peruano PERU-SA, la ortofoto obtenida en el presente estudio tiene una resolución espacial 900% mejor que la de una imagen satelital. Al obtener una mejor resolución, es posible identificar una mayor cantidad de objetos en el área de estudio (montículos de tierra en los márgenes de los canales de agua, arbustos, entre otros), con lo cual es posible realizar un análisis detallado del terreno.
- Finalmente, se ha elaborado un mapa de curvas de nivel del terreno con intervalo de 5 metros a escala 1:5000. Los resultados muestran que la localidad de Virú presenta elevaciones máximas al Este donde se encuentra la Huaca Santa Clara y un relieve llano en el centro urbano y zonas de cultivo.



8 RECOMENDACIONES

- Antes de realizar el vuelo realizar la verificación de las condiciones meteorológicas de la zona de estudio y el índice geomagnético (kp), este índice se calcula a partir de las variaciones del campo magnético, 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

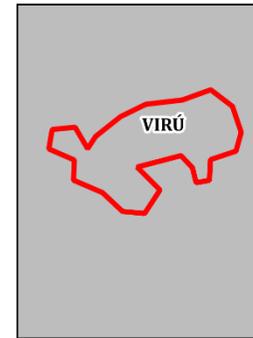
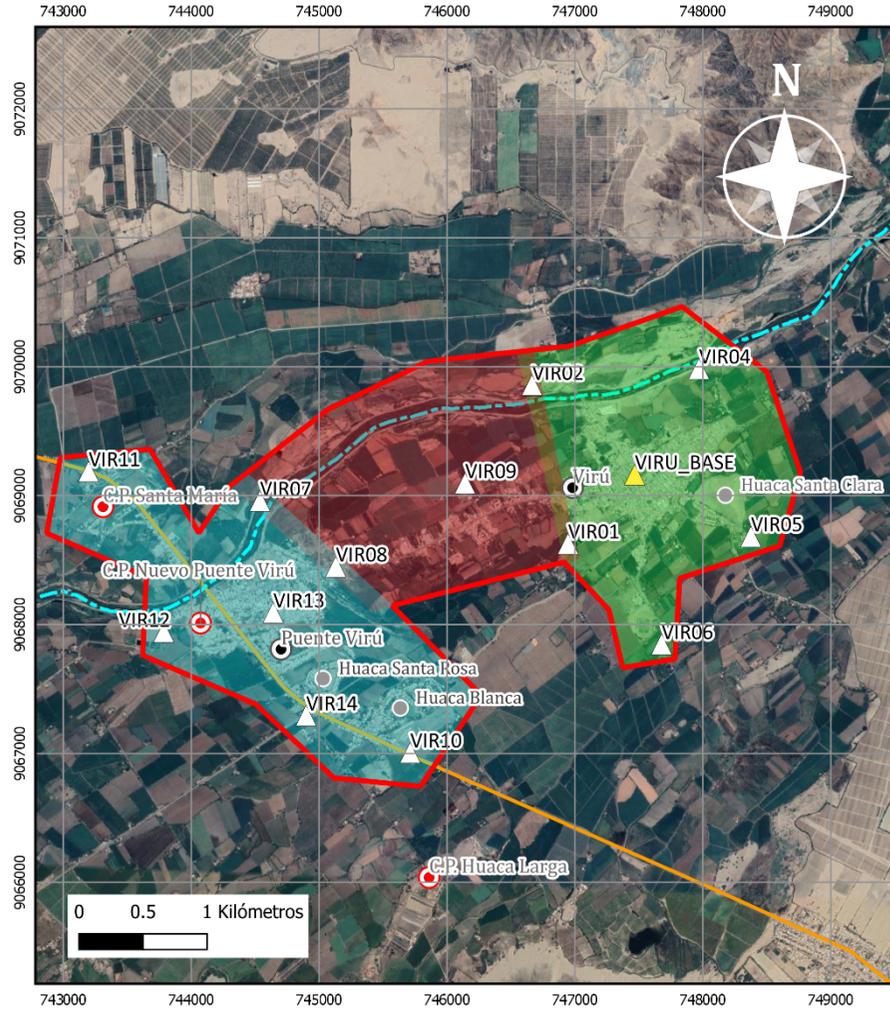
- Doyle, F. (1978). Digital Terrain Models: An Overview*. Photogrammetric engineering and remote sensing, 44, 1481–1485. Recuperado de https://www.asprs.org/wp-content/uploads/pers/1978journal/dec/1978_dec_1481-1485.pdf
- Hoffmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., & Collins, J. (2001). Global Positioning 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). GNSS 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



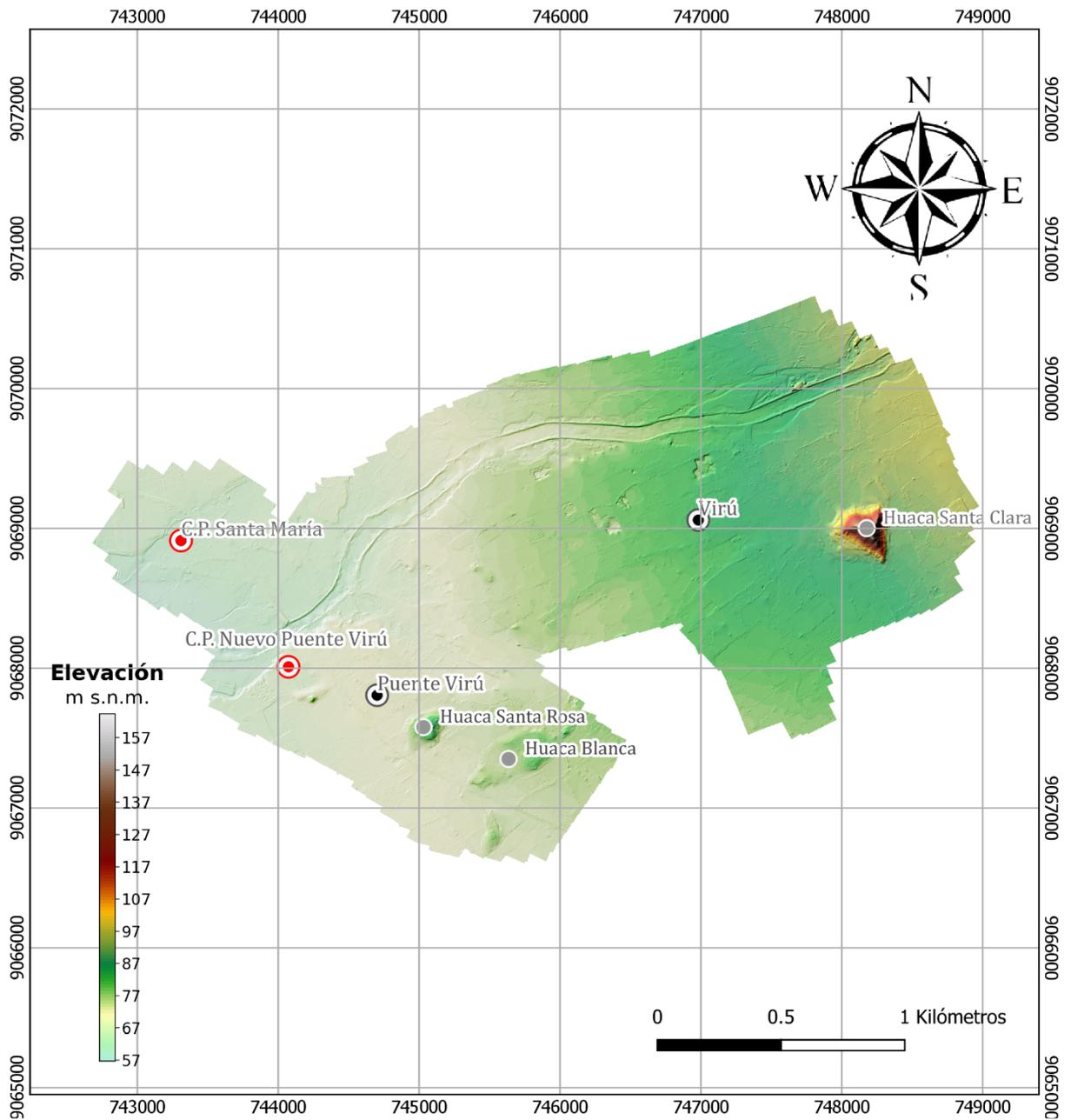
ANEXO 1



LEYENDA

- Centro urbano
- Centros Poblados
- Huacas
- △ Puntos de control
- ▲ Punto base de control
- Río Virú
- Carretera panamericana norte
- Planes de vuelo**
- Misión 1 (VRUM01)
- Misión 2 (VRUM02)
- Misión 3 (VRUM03)

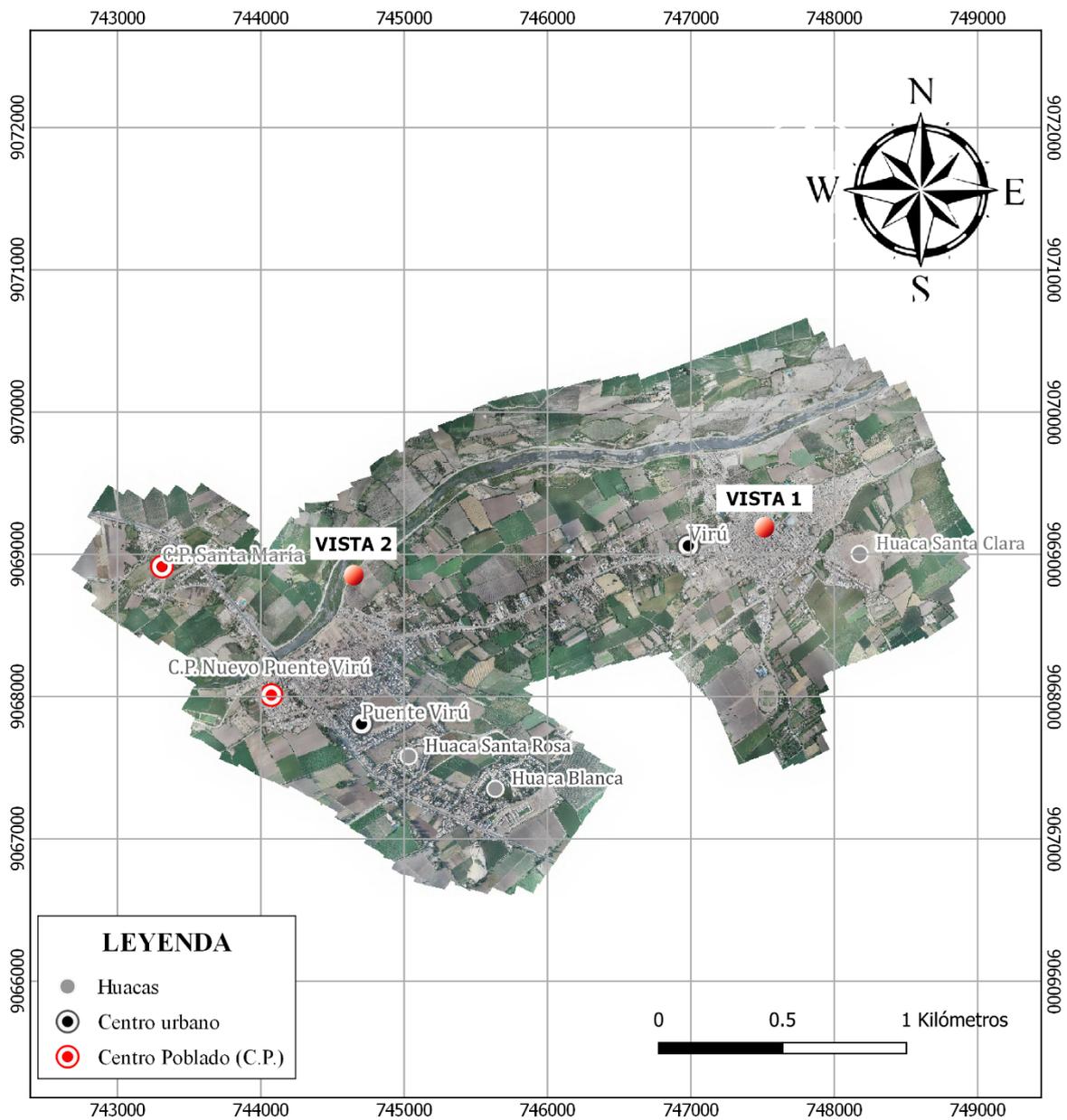
 INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ SUBDIRECCIÓN DE CIENCIAS DE LA TIERRA SÓLIDA	PROGRAMA PRESUPUESTAL POR RESULTADOS PPR068 Zonas Geográficas con gestión de Información Sísmica	
	Generación de Estudios Territoriales de Peligro Sísmico	Zonificación sísmica - geotécnica de la localidad de Virú - La Libertad
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	Mapa: A
Datum: WGS84 Proyección: UTMZona 17S	Año: 2020	



LEYENDA	
●	Huacas
⊙	Centro urbano
⊙	Centro Poblado (C.P.)

 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 Sísmico	Zonificación sísmica - geotécnica de la localidad de Virú - La Libertad	
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

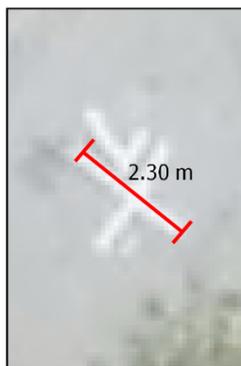
Levantamiento topográfico mediante fotogrametría aérea con dron y mediciones de GNSS en la localidad de Virú



VISTA 1



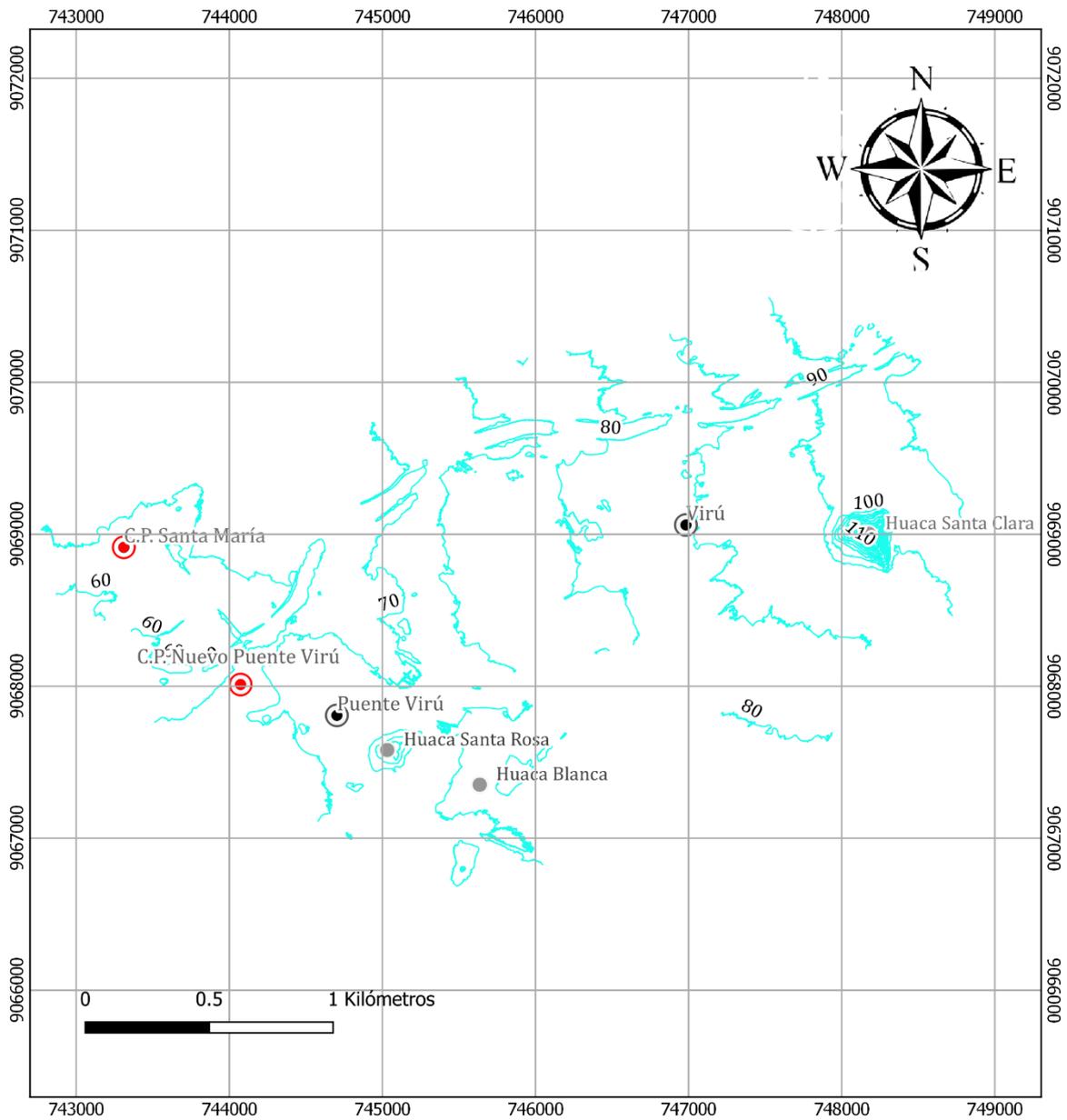
VISTA 2



	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 Sísmico	Zonificación sísmica - geotécnica de la localidad de Virú - La Libertad	
ORTOMOSAICO		
Responsable del proyecto: Hernando Tavera	Ejecución del estudio: Juan Carlos Villegas Lanza	
Elaborado por: Keiko Moroccoire/ Mijaell Berduzco		Escala: 1/5,000 Mapa: C
Datum: WGS84 Proyección: UTMZona 17S	Año: 2020	



Levantamiento topográfico mediante fotogrametría aérea con dron y mediciones de GNSS en la localidad de Virú



LEYENDA	
	Curvas de nivel
	Centro Poblado (C.P.)
	Centro urbano
	Huacas

	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 Sísmico	Zonificación sísmica - geotécnica de la localidad de Virú - La Libertad	
CURVAS DE NIVEL A INTERVALO 5m		
Responsable del proyecto: Hernando Tavera	Ejecución del estudio: Juan Carlos Villegas Lanza	
Elaborado por: Keiko Moroccoire/ Mijaell Berduzco		Mapa: D
Datum: WGS84 Proyección: UTMZona 17S	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 GNSS en modo Post Procesamiento Cinemático (PPK)

Este método emplea una estación GNSS base y una o más estaciones móviles (rover), donde la estación móvil realiza mediciones GNSS 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 GNSS 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 GNSS 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).

