



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 CHAO, 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 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 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 Chao, 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 2300 ha y comprende el ámbito urbano y rural de la localidad. Los trabajos de campo se realizaron los días 6, 7 y 8 de marzo del 2020, periodo en el que se obtuvieron 1994 fotografías aéreas y se midieron coordenadas GNSS precisas en 15 puntos de fotocontrol. Los productos obtenidos consisten en: 01 Modelo Digital del Terreno (MDT) con una resolución espacial de 29.4 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 de 7.4 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

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>ASPECTOS GENERALES</b> .....	<b>7</b>
2.1	UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD .....	7
<b>3</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>7</b>
3.1	OBJETIVO GENERAL .....	7
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	7
<b>4</b>	<b>LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO MEDIANTE FOTOGRAMETRÍA AÉREA CON DRON Y MEDICIONES DE GPS</b> .....	<b>7</b>
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	MEDICIÓN DE COORDENADAS GNSS PRECISAS EN LOS PUNTOS DE FOTOCONTROL .....	9
4.3	LEVANTAMIENTO FOTOGRAMÉTRICO .....	10
<b>5</b>	<b>METODOLOGÍA PARA EL PROCESAMIENTO DE DATOS</b> .....	<b>10</b>
5.1	PROCESAMIENTO DE DATOS DE LOS PUNTOS DE FOTOCONTROL GPS .....	10
5.2	PROCESAMIENTO DE FOTOGRAFÍAS AÉREAS .....	11
<b>6</b>	<b>RESULTADOS DEL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO</b> .....	<b>11</b>
6.1	COORDENADAS PRECISAS DE LOS PUNTOS DE FOTOCONTROL GPS .....	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> .....	14
<b>7</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>15</b>
<b>8</b>	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>15</b>
<b>9</b>	<b>REFERENCIAS</b> .....	<b>16</b>
	<b>ANEXO 2: MARCO CONCEPTUAL</b> .....	<b>22</b>

## RELACIÓN DE FIGURAS

**Figura 1.** Punto de fotocontrol CHA02. Se observa al operador y al equipo GPS 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 Chao. .... 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 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 Chao, mediante fotogrametría aérea con dron y mediciones GNSS”. El área de estudio abarca una extensión de 2300 ha, y se caracteriza por presentar una topografía accidentada, con elevaciones máximas y mínimas de 300 m s.n.m y 63 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 6 al 8 de marzo del 2020, que consistió en la adquisición de 1994 fotografías aéreas con dron y la medición de 15 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 de 29.6 cm/pixel, que ha permitido generar un mapa de la zona de estudio a escala 1:5000, 01 ortomosaico con resolución espacial de 7.4 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 poblado de Chao 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 754939.04 m E, 9054906.12 m N, a una elevación promedio de 70 m s.n.m. Esta localidad abarca una superficie aproximada de 162 ha y sus límites son: por el Sur con la empresa Camposol, por el Norte con el centro poblado Nuevo Chao, por el Este con el centro poblado Caserío el Inca y por el Oeste con el fundo Yakuy Minak de la empresa Camposol. 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 5 minutos aproximadamente.

## **3 OBJETIVOS**

### **3.1 Objetivo general**

- Realizar el levantamiento topográfico en alta resolución de la localidad de Chao, La Libertad (área 2300 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 29.6 cm/pixel.
- Obtener un ortomosaico con una resolución espacial inferior a 7.4 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 de la localidad de Chao 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 2300 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/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 (CHAM01)	451	NE-SW	757822.04	9058097.48
Misión -02 (CHAM02)	715	NE-SW	754939.04	9054906.12
Misión -03 (CHAM03)	822	NW-SE	755288.06	9058002.10

### 4.1.2 Puntos de fotocontrol

En base a información sobre la orografía y accesibilidad a la zona de estudio se establecieron 15 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 Medición de coordenadas GNSS precisas en los puntos de fotocontrol**

Con el propósito de georeferenciar las fotografías aéreas se realizó la señalización de 15 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 CHA02. Se observa al operador y al equipo GPS rover realizando la adquisición de datos.

Para la adquisición de datos GPS se utilizaron receptores GNSS base y móvil Trimble R8 y accesorios. La estación base fue ubicada sobre un punto con



coordenadas conocidas (UTM Este: 755522.3, Norte: 9055420.8) 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 11 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 6, 7 y 8 de marzo del 2020 (Tabla 2), periodo en el que se obtuvieron un total de 1994 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 Chao.**

Fecha	Misiones	Duración	Hora Inicio	Hora Final
06/03/2020	Misión - 01 (CHAM01)	04:00:00	09:00:00	13:00:00
		01:45:00	14:30:00	16:15:00
07/03/2020	Misión - 02 (CHAM02)	01:45:00	09:00:00	12:30:00
		03:30:00	13:30:00	17:00:00
08/03/2020	Misión - 03 (CHAM03)	03:00:00	08:30:00	11:30:00
		03:30:00	13:00:00	16:30:00

## 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 base y los puntos de control 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 2,003,272 puntos de enlace. En la segunda etapa se realizó la densificación de la nube de puntos, logrando generar 11.4 puntos/m<sup>2</sup>. 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 obtenidos en la componente horizontal varía entre 0.2 cm a 2.6 cm y en la componente vertical entre 0.3 cm a 9.6 cm. Debido a que la estación base (CHAO-BASE) fue calculada respecto a una estación de referencia regional ubicada a 300 km de distancia, su precisión es de 2.6 cm y 9.6 cm 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: Chao 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)
CHAO_B	755522.3	9055420.8	105.9	0.026	0.096
CHA01	756790.2	9056467.2	111.2	0.003	0.005
CHA02	756635.4	9057357.8	113.9	0.002	0.004
CHA03	757739.2	9057812.3	119.5	0.007	0.007
CHA04	754388.1	9059445.5	155.3	0.007	0.008
CHA05	755203.0	9056131.4	101.5	0.005	0.007
CHA06	755345.3	9058281.7	131.8	0.003	0.003
CHA07	755297.5	9057203.5	109.0	0.004	0.009
CHA08	754899.9	9059459.0	161.7	0.005	0.006
CHA09	759074.3	9058780.8	138.3	0.003	0.004
CHA10	753299.3	9054209.7	73.6	0.004	0.005
CHA11	755502.8	9055401.9	95.9	0.003	0.004
CHA12	755975.5	9053638.2	89.0	0.003	0.004
CHA13	756852.7	9055220.5	100.2	0.006	0.007
CHA14	754745.4	9054920.1	82.7	0.004	0.005
CHA15	758582.1	9059514.3	149.4	0.006	0.008

## 6.2 Fotogrametría

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

### 6.2.1 Modelo digital del terreno (MDT)

Se ha obtenido un modelo digital del terreno (MDT), para la localidad de Chao (2300 ha), con una resolución espacial de 29.6 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 de la superficie del terreno en coordenadas X, Y, Z libre de edificios y vegetación. Las tonalidades que se observan en el mapa B indican las



elevaciones del terreno, estas varían de tonalidades verdes a plomas para elevaciones inferiores a 143 m s.n.m. y elevaciones entre 263 m s.n.m. a 308 m s.n.m. respectivamente.

Las elevaciones máximas (colores marrones a plomos) se ubican al Norte del mapa, donde se localizan cerros costeros que presentan una orientación NorOeste - SurEste y alcanzan una elevación máxima de 308 m s.n.m., en esta zona se emplaza el centro poblado de Nuevo Chao y la empresa Camposol; las elevaciones intermedias y bajas (tonalidades verdes) corresponden a las pampas costeras y zona de valle que presentan una elevación entre 63 m s.n.m. a 153 m s.n.m., sobre estas geoformas se emplazan los centros poblados de Chao (Sur) y Caserío el Inca (NorEste).

### **6.2.2 Mapa de ortomosaico**

Se ha generado un mapa de ortomosaico del centro poblado de Chao con una resolución espacial de 7.4 cm/píxel a escala 1:5000 (Mapa C en Anexo 1), el cual permite identificar claramente: calles, viviendas, puentes, árboles, canales de agua, autos, parques, muros de piedra y objetos de hasta 30 cm de longitud, entre otros. En el mapa se observan diversos tonos de color, los cuales reflejan el predominio de objetos en el área de estudio. El color de tonalidad ploma representa las edificaciones, las calles y canales de agua; las tonalidades marrones representan los cerros, lomas, pampas y caminos de trocha; las tonalidades verdes representan las áreas de cultivo. Según esta clasificación en el área de estudio predominan las zonas de cultivo abarcando un área de 1640 ha aproximadamente. Cabe mencionar que el efecto de sombra producido por árboles y construcciones es mínimo.

De acuerdo con las tonalidades identificadas en el mapa, se puede estimar el área aproximada que abarcan los centros poblados de Chao, Nuevo Chao y Caserío el Inca, siendo de 237 ha, 214 ha y 7.6 ha respectivamente. Finalmente, es preciso destacar la alta resolución de este producto, comparado por ejemplo con la que se puede obtener del satélite peruano PERU-SAT, cuya resolución es de 70 cm/píxel.



### **6.2.3 Mapa de curvas de nivel**

A partir del Modelo Digital del Terreno se elaboró un mapa de curvas de nivel (cada 5 metros) a escala 1:5000 para la localidad de Chao (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 laderas convexas en los cerros costeros ubicados al norte del mapa los cuales presentan una elevación que oscila entre 165 m s.n.m. a 310 m s.n.m. Las elevaciones intermedias (110 m s.n.m. a 160 m s.n.m.) abarcan la zona sur de los cerros costeros (NorOeste) y la parte alta del río Chao (NorEste) sobre los cuales se encuentran el centro poblado Nuevo Chao y Caserío el Inca respectivamente. Las cotas bajas (63 m s.n.m. a 100 m s.n.m.) corresponden al centro poblado de Chao y parte baja de la zona de cultivo; las curvas de nivel espaciadas en estas dos últimas zonas indican que el relieve es llano. Por último, se observa que el río Chao cruza el área de estudio de NorEste a SurOeste, presentando baja sinuosidad y un cambio de elevación de 83 m en una longitud de 9.3 km.



## **7 CONCLUSIONES**

- Se ha realizado el levantamiento topográfico en el centro poblado de Chao, 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 a 29.6 cm/píxel y un ortomosaico con una resolución espacial de 7.4 cm/píxel.
- Estos productos tienen una mayor resolución que los productos generados por el satélite peruano PERU-SAT, cuya resolución es de 70 cm/píxel. 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.
- 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 Chao presenta elevaciones máximas al Norte donde se encuentran los cerros costeros y depresiones que remarcan los márgenes del río Chao.

## **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), este 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

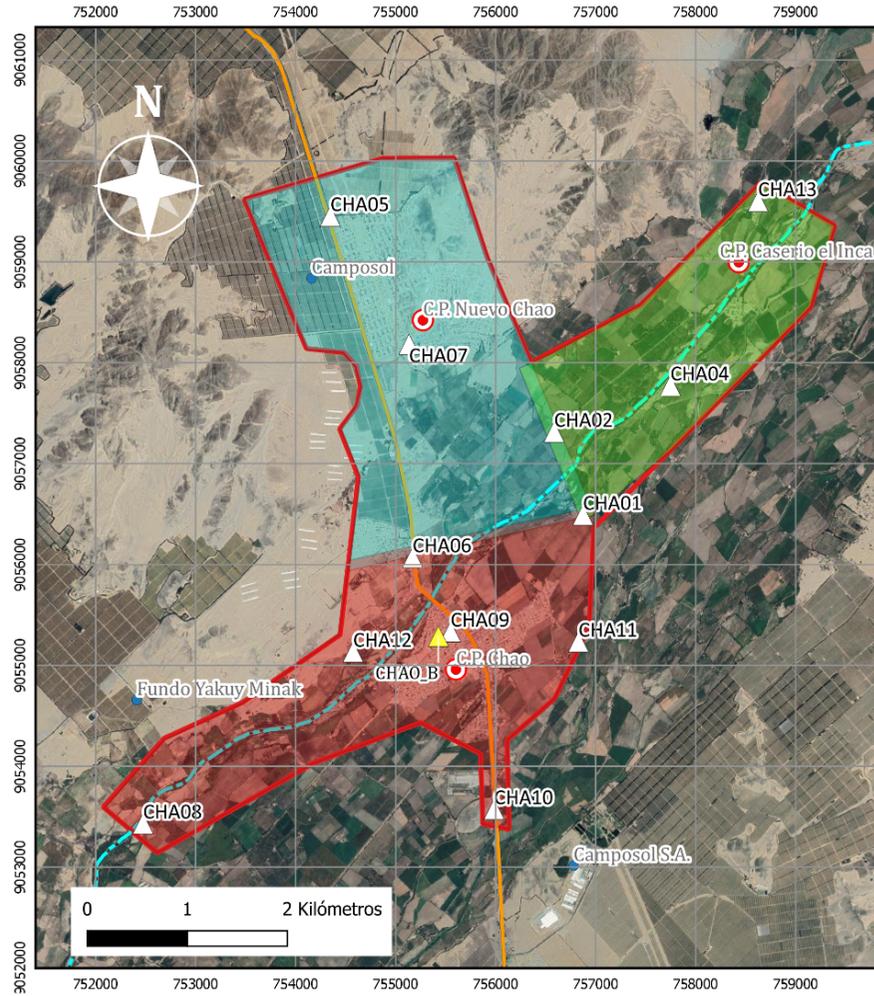
- Doyle, F. (1978). Digital Terrain Models: An Overview\*. Photogrammetric engineering and remote sensing, 44, 1481–1485. Recuperado de [https://www.asprs.org/wp-content/uploads/pers/1978journal/dec/1978\\_dec\\_1481-1485.pdf](https://www.asprs.org/wp-content/uploads/pers/1978journal/dec/1978_dec_1481-1485.pdf)
- 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**



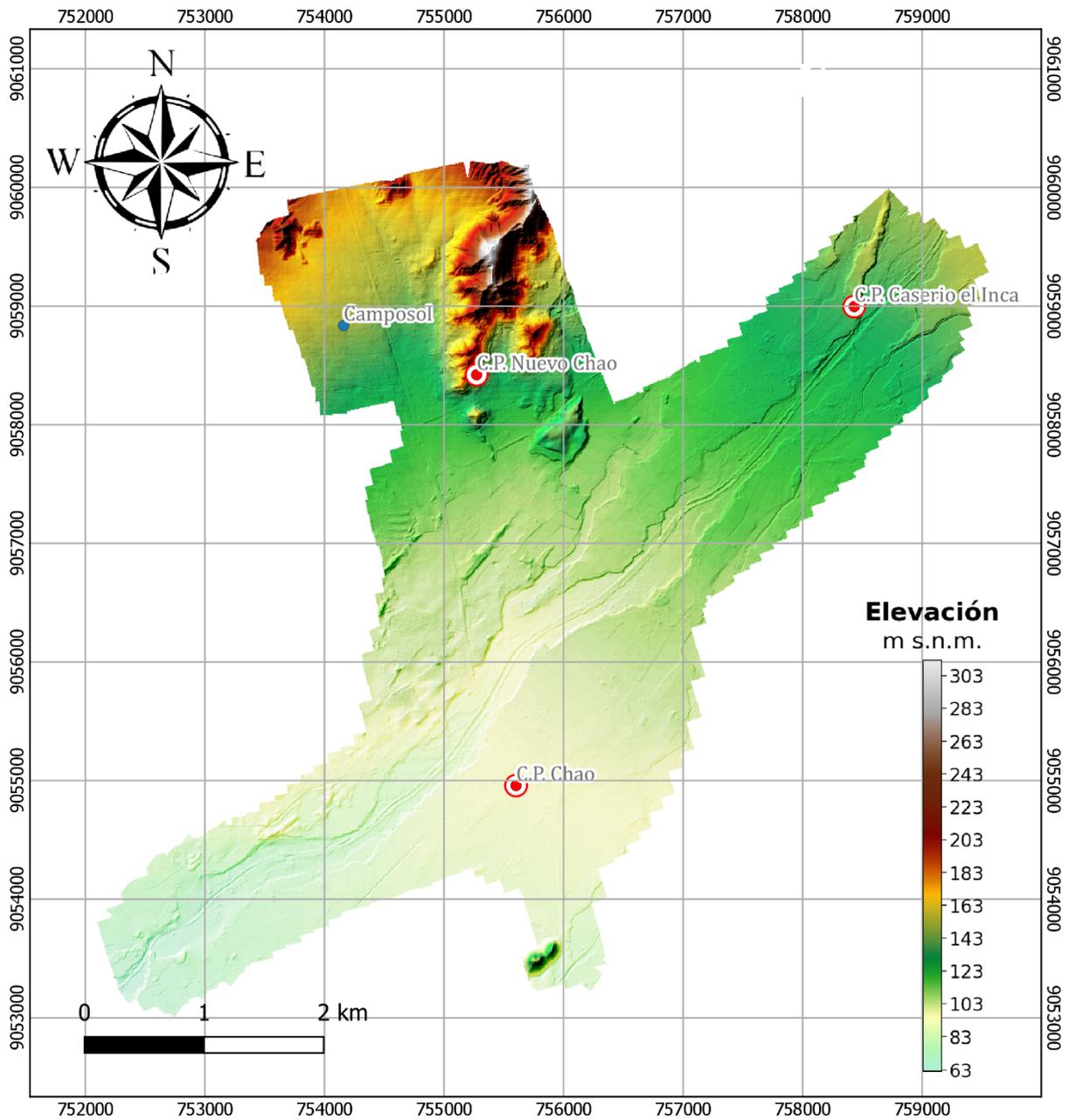
# ANEXO 1



**LEYENDA**

Centros poblados (C.P.)	Área de estudio
Empresa Camposol	<b>Planes de vuelo</b>
Carretera Panamericana Norte	Misión 1 (CHAM01)
Río Chao	Misión 2 (CHAM02)
Punto base de control	Misión 3 (CHAM03)
Puntos de fotocontrol	

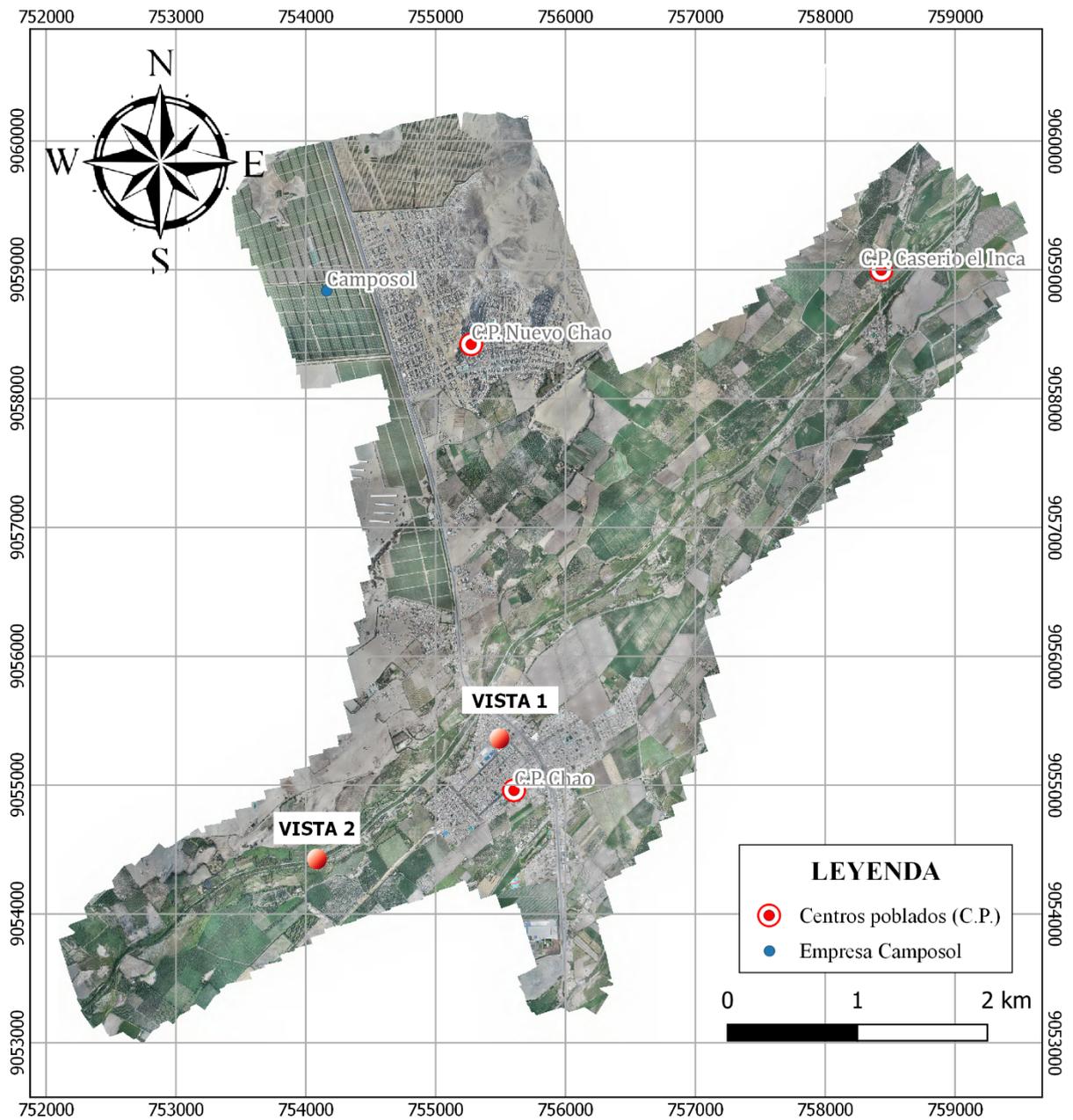
<b>INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ</b> SUBDIRECCIÓN DE CIENCIAS DE LA TIERRA SÓLIDA	
<b>PROGRAMA PRESUPUESTAL POR RESULTADOS PPR068</b> <b>Zonas Geográficas con gestión de Información Sísmica</b>	
Generación de Estudios Territoriales de Peligro Sísmico	Zonificación sísmica - geotécnica de la localidad de Chao - La Libertad
<b>MAPA DE UBICACIÓN, PLANES DE VUELO Y PUNTOS DE FOTOCONTROL</b>	
Responsable del proyecto: Hernando Tavera	Ejecución del estudio: Juan Carlos Villegas Lanza
Elaborado por: Keiko Morocquire/ Mijaell Berduzco	Escala: 1/50,000
Datum: WGS84 Proyección: UTMZona 17S	Año: 2020
Mapa: <b>A</b>	



LEYENDA	
	Centros poblados (C.P.)
	Empresa Camposol

 <b>INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ</b> SUBDIRECCIÓN DE CIENCIAS DE LA TIERRA SÓLIDA	
<b>PROGRAMA PRESUPUESTAL POR RESULTADOS PPR068</b> <b>Zonas Geográficas con gestión de Información Sísmica</b>	
Generación de Estudios Territoriales de Peligro Sísmico	Zonificación sísmica - geotécnica de la localidad de Chao - La Libertad
<b>MODELO DIGITAL DEL TERRENO (MDT)</b>	
Responsable del proyecto: Hernando Tavera	Ejecución del estudio: Juan Carlos Villegas Lanza
Elaborado por: Keiko Moroccoire / Mijaell Berduzco	
Datum: WGS84 Proyección: UTMZona 17S	Año: 2020
Escala: 1/5,000	
<b>Mapa:</b> <span style="font-size: 2em; font-weight: bold;">B</span>	

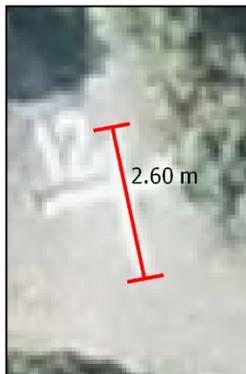
Levantamiento topográfico mediante fotogrametría aérea con dron y mediciones de GPS en la localidad de Chao



VISTA 1

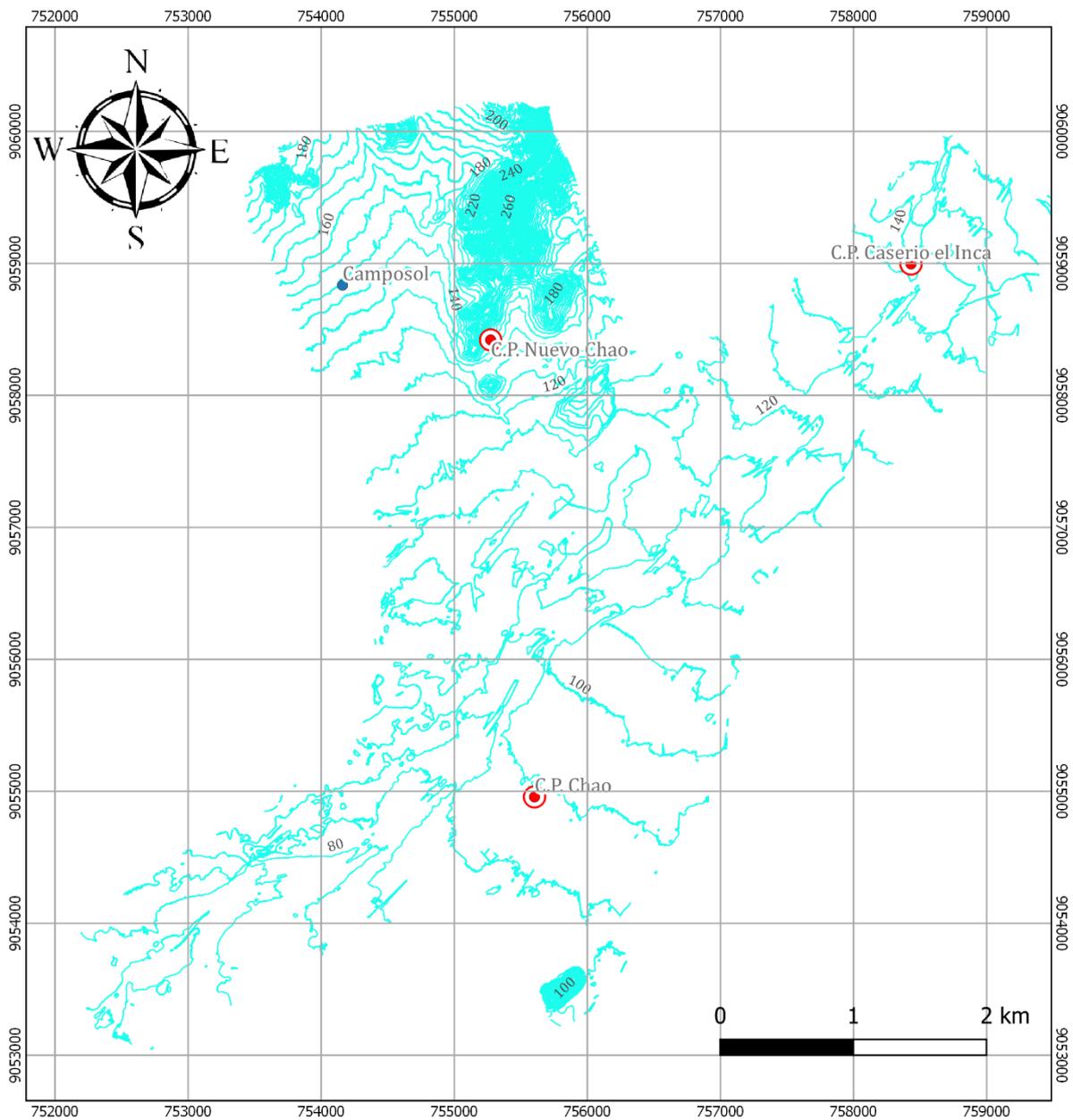


VISTA 2



 <b>INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ</b> SUBDIRECCIÓN DE CIENCIAS DE LA TIERRA SÓLIDA			
		<b>PROGRAMA PRESUPUESTAL POR RESULTADOS PPR068</b> Zonas Geográficas con gestión de Información Sísmica	
Generación de Estudios Territoriales de Peligro Sísmico		Zonificación sísmica - geotécnica de la localidad de Chao - La Libertad	
<b>ORTOMOSAICO</b>			
Responsable del proyecto: Hernando Tavera		Ejecución del estudio: Juan Carlos Villegas Lanza	
Elaborado por: Keiko Moroccoire/ Mijaell Berduzco		Escala: 1/5,000	Mapa: <b>C</b>
Datum: WGS84	Proyección: UTMZona 17S		

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



LEYENDA	
	Centros poblados (C.P.)
	Empresa Camposol
	Curvas de nivel

 <b>INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ</b> SUBDIRECCIÓN DE CIENCIAS DE LA TIERRA SÓLIDA	
<b>PROGRAMA PRESUPUESTAL POR RESULTADOS PPR068</b> <b>Zonas Geográficas con gestión de Información Sísmica</b>	
Generación de Estudios Territoriales de Peligro Sísmico	Zonificación sísmica - geotécnica de la localidad de Chao - La Libertad
<b>CURVAS DE NIVEL A INTERVALO 5m</b>	
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	

## **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).

