



PERÚ

Ministerio  
del Ambiente

Instituto  
Geofísico del Perú - IGP



**LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO MEDIANTE FOTOGRAMETRÍA  
AÉREA CON DRON Y MEDICIONES GPS  
DEL DISTRITO DE CHAVIN, ICA**



Lima – Perú

2020

**Presidente Ejecutivo**

Dr. Hernando Tavera Huarache

**Director Científico**

Dr. Danny Scipión Castillo

**Responsable del proyecto**

Juan Carlos Gómez Ávalos

**Ejecución del estudio**

Juan Carlos Villegas Lanza

Wendy Quiroz Sifuentes

Rodrigo Pamo Díaz

Mijaell Berduzco Ancco

**Instituto Geofísico del Perú**

Calle Badajoz 169, Urb. Mayorazgo IV Etapa

Teléfono +51 1 317 23 00



## TABLA DE CONTENIDOS

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>4</b>
<b>2. OBJETIVO GENERAL</b> .....	<b>5</b>
<b>3. UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO</b> .....	<b>5</b>
<b>4. MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>6</b>
4.1 PRINCIPIO DE LA FOTOGAMETRÍA .....	6
4.2 PLANEACIÓN DE UN PROYECTO DE VUELO FOTOGAMÉTRICO .....	6
<b>5. MATERIALES Y EQUIPOS</b> .....	<b>7</b>
5.1 VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO .....	7
5.2 PUNTOS DE CONTROL GEODÉSICO .....	7
<b>6. METODOLOGÍA</b> .....	<b>7</b>
6.1 PLAN DE VUELO .....	8
6.2 SELECCIÓN, SEÑALIZACIÓN Y MEDICIÓN DE LOS PUNTOS DE FOTOCONTROL .....	10
<b>7. DATOS Y PROCESAMIENTO</b> .....	<b>11</b>
7.1 PROCESAMIENTO DE PUNTOS DE FOTOCONTROL .....	11
7.2 PROCESAMIENTO DE LAS IMÁGENES AÉREAS .....	11
7.2.1 <i>Nube de puntos 3D</i> .....	12
7.2.2 <i>Modelo digital del terreno</i> .....	12
7.2.3 <i>Ortomosaico</i> .....	12
7.2.4 <i>Curvas de nivel</i> .....	12
<b>8. RESULTADOS</b> .....	<b>13</b>
8.1 COORDENADAS PRECISAS DE LOS PUNTOS DE FOTOCONTROL GPS .....	13
8.2 FOTOGAMETRÍA.....	14
8.2.1 <i>Modelo Digital del terreno</i> .....	14
8.2.2 <i>Ortomosaico</i> .....	16
8.2.3 <i>Curvas de nivel</i> .....	18
<b>9. CONCLUSIONES</b> .....	<b>20</b>
<b>10. REFERENCIAS</b> .....	<b>20</b>

## LISTA DE MAPAS

- Mapa 1. Ubicación del área del estudio en la localidad de Chavín en la provincia de Chincha, departamento de Ica. La línea roja indica el límite del área de estudio, comprendiendo un área de 460ha.
- Mapa 2. Modelo Digital del Terreno de la localidad de Chavín en la provincia de Chincha, departamento de Ica.
- Mapa 3. Ortomosaico de la localidad de Chavín en la provincia de Chincha, departamento de Ica.
- Mapa 4. Curvas de nivel de la localidad de Chavín en la provincia de Chincha, departamento de Ica.

## LISTA DE FOTOS

- Foto 1. Fotografía aérea donde se logra divisar el punto de fotocontrol CH7, ubicado en la localidad de Chavín
- Foto 2. Punto de fotocontrol SP1, ubicado en la localidad de Chavín, debidamente señalado (marca y número de punto de fotocontrol correspondiente).

## LISTA DE TABLAS

- Tabla 1. Planes de vuelo en el área de trabajo para la adquisición de las fotografías aéreas.
- Tabla 2. Coordenadas UTM de los puntos de fotocontrol y la base geodésica.

## ABREVIATURAS

MDT	Modelo Digital del Terreno
MDS	Modelo Digital de Superficie
m	metros
mm	milímetros
VAN	Vehículo aéreo no tripulado

## 1. Introducción

El Instituto Geofísico del Perú (IGP) ha realizado estudios geodinámicos y geotécnicos en 4 distritos de la provincia de Chincha (Chavín, San Pedro de Huacarpana, Alto Larán y San Juan de Yanac), con la finalidad de generar información que permita identificar y caracterizar las zonas donde podrían ocurrir deslizamientos, derrumbes, desbordes del río, entre otros, en el marco de convenio con FONDES.

En el presente estudio se ha realizado el levantamiento topográfico de la localidad de Chavín (460 ha de área), mediante la utilización de un dron y mediciones geodésicas RTK de puntos de fotocontrol, lo que ha permitido recolectar 1,891 fotografías y medir la posición de 8 puntos de control geodésicos. El procesamiento de datos se ha realizado mediante la técnica de fotogrametría, la cual permite integrar fotografías aéreas y georreferenciarlas con coordenadas precisas de los puntos de fotocontrol, para extraer información de alta resolución y precisión del relieve de la zona de estudio. En este informe se presenta una descripción de los principios de la fotogrametría, la metodología para recolección de datos, el procesamiento y finalmente los resultados del levantamiento topográfico de alta resolución de la localidad de Chavín. Los productos obtenidos consisten en un modelo digital del terreno, una ortofoto y curvas de nivel de alta precisión que sirven de base para la modelización y estudio de inundaciones, diseño de drenajes, planificación territorial, etc.

## 2. Objetivo General

Realizar el levantamiento topográfico de alta resolución ( $< 28$  cm/píxel) en el distrito de Chavín, en la provincia de Chincha, utilizando el método de fotogrametría aérea con dron y mediciones GPS.

## 3. Ubicación de la zona de estudio

La zona de estudio se encuentra situada en la localidad de Chavín, provincia de Chincha departamento de Ica, entre las coordenadas UTM Este 399800 y 401800, Sur 8555800 y 8553200, a una elevación promedio de 3187ms.n.m (ver Mapa 1).



## 4. Marco teórico

### 4.1 Principio de la fotogrametría

La fotogrametría es el arte, la ciencia y tecnología de obtener información de objetos físicos y su entorno a través de procesos de grabación, medición e interpretación de imágenes fotográficas y patrones de energía electromagnética radiante y otros fenómenos (Wolf and Dewitt, 2000; McGlone, 2004). Esta técnica se basa en proyectar la imagen registrada en una fotografía, de manera ortogonal sobre un plano de referencia, la cual ha sido proyectada sobre el negativo mediante la proyección central, que es la usada por las lentes (McEwen, 1968).

Para la ejecución del un proyecto fotogramétrico, se asume que la proyección central es perfecta, lo cual supone que: (a) No existe desviación de los rayos de luz que atraviesan los lentes de la cámara. (b) La imagen se proyecta sobre una superficie perfectamente plana. (c) La relación matemática que relaciona el objeto y su imagen se conoce con el nombre de principio de colinealidad. En los últimos años el uso de drones se ha ampliado considerablemente, haciendo que la fotogrametría aérea sea utilizada en muchas más áreas de las que estaba disponible anteriormente. Las técnicas que actualmente se utilizan se basan en las técnicas tradicionales, pero las exigencias, el equipamiento necesario y la dificultad de las maniobras se han reducido sustancialmente.

La fotogrametría con drones permite adquirir información del relieve de la superficie del terreno, con la cual es poaiablgenerar mapas, realizar mediciones como longitudes, áreas, volúmenes, modelar superficies en 3D, con alta precisión, pero con las ventajas en términos de seguridad, tiempo y costo.

### 4.2 Planeación de un proyecto de vuelo fotogramétrico

Para garantizar una adecuada cobertura fotográfica del levantamiento topográfico de la zona de estudio, se requiere la planificación de un proyecto de vuelo fotogramétrico. Para esto, se deben considerar las condiciones atmosféricas, las características topográficas de la zona de estudio, sus límites, la escala del mapa a realizar, la precisión requerida, etc. Con esta información se determinarán elementos importantes como altura del vuelo, separación entre líneas de vuelo, velocidad de vuelo, entre otros.

## 5. Materiales y equipos

### 5.1 Vehículo aéreo no tripulado

Un Vehículo Aéreo no Tripulado (UAV) o un dron, es una aeronave que tiene la habilidad de volar sin piloto a bordo (RAE, 2019) la cual es controlada por ondas de radio mediante un control remoto localizado en tierra. 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. En el presente estudio se ha utilizado, un dron modelo Phantom 4 pro, tiene un peso total de 1.4kg, con una cámara de 20 megapíxeles, que permite obtener imágenes de alta resolución con un tamaño de imagen de 5000x4000 píxeles, un set de 6 baterías que garantizan una autonomía de vuelo de 120 minutos en periodos de 20 minutos y un controlador remoto.

### 5.2 Puntos de control geodésico

Un punto de fotocontrol es un lugar físico en la superficie de 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 realizar su georreferenciación. Para establecer la posible localización y el número de puntos de fotocontrol se realizó la revisión de información sobre los rasgos geológicos, geográficos y la accesibilidad de la zona de estudio. La posición de los puntos temporales de fotocontrol fue medida utilizando un sistema GPS RTK, que consiste en un receptor GPS base y rover Trimble R8, un colector de datos, un bastón de 1.80 m de longitud y accesorios.

## 6. Metodología

El trabajo se ha desarrollado en tres etapas, las cuales se describen a continuación:

**Gabinete 1.** Recopilación de información a partir de informes y reportes técnicos sobre la problemática del distrito de Chavín. Preparación de mapas de ubicación de la zona de estudio y elaboración de los planes de vuelo del dron y ubicación preliminar de los puntos de fotocontrol para la adquisición de información en campo.

**Trabajos de campo:** Reconocimiento del área de estudio, señalización, instalación, medición de los puntos de fotocontrol y ejecución de los planes de vuelo para la obtención de las fotografías aéreas.

**Gabinete 2:** Procesamiento de los datos geodésicos y fotogramétricos, obtención de productos cartográficos y elaboración del informe técnico.

## 6.1 Planes de vuelo

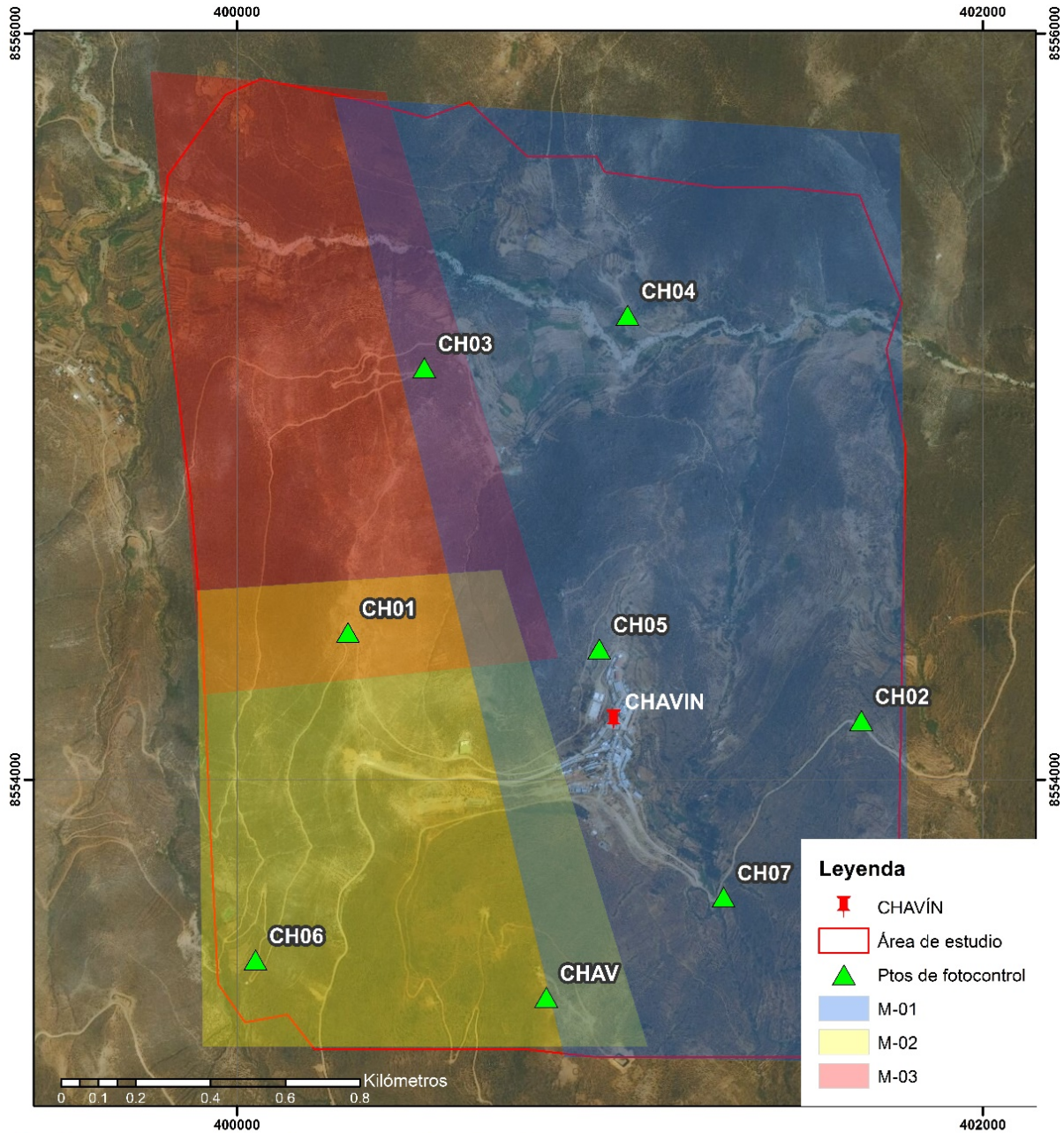
Para llevar a cabo la adquisición de las fotografías aéreas se realizaron tres planes de vuelo que cubren toda la zona de estudio (Tabla 1 y Mapa 1). Los planes de vuelo fueron creados con el software MapPilot versión 2.9.2, el cual considera el relieve casi real de la superficie del terreno, lo que evitar posibles accidentes por impacto del dron debido a la presencia de topografía abrupta. Asimismo, se han considerado otros factores que se describen a continuación:

- Resolución de cámara: 20 megapíxeles
- Ground Sample Distance (GSD): 3.7 cm/píxel
- Altura de vuelo: 300 metros
- Traslape: 65% de traslape longitudinal y 65% de traslape transversal.
- Tiempo de vuelo: Por seguridad no mayor a 13 minutos.

**Tabla 1.** Planes de vuelo en zona de estudio, área y orientación del vuelo para la adquisición de las fotografías aéreas.

Código	Área (ha)	Orientación
M-01	255	SE-NW
M-02	83	SE-NW
M-03	61	SE-NW





<b>Instituto Geofísico del Perú</b> Subdirección de Ciencias de la Tierra Sólida			
LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO MEDIANTE FOTOGAMETRIA AÉREA CON DRONE Y MEDICIONES GPS DEL DISTRITO DE CHAVIN			
MAPA DE UBICACIÓN - CHAVÍN			
Responsable del proyecto: Hernando Tavera		Ejecución del proyecto: Juan Carlos Villegas	
Elaborado por: Wendy Quiroz		Escala: 1:13,486	Plano: <b>P - 01</b>
Datum: WGS 1984 Proyección: UTM Zona 18 s		Año: 2020	Formato: A 3

**Mapa 1.** Mapa de ubicación del área de estudio. La línea roja delimita el área de estudio, comprendiendo un área de 460ha. Los polígonos de color azul, amarillo y rojo corresponden a los planes de vuelo M-01, M-02 y M-03 respectivamente. Los triángulos representan la ubicación de los puntos de fotocontrol.



## 6.2 Selección, señalización y medición de los puntos de fotocontrol

En base a la ubicación preliminar de los puntos de fotocontrol realizada en gabinete, donde se identificaron accesos, áreas de cultivo, pendientes, objetos, etc., que puedan interferir en la realización de las mediciones; una vez en campo, se efectuó el reconocimiento del área de estudio y se constató que los lugares de medición propuestos fueran adecuados, y que se encontraran dentro de propiedad pública o privada, para lo cual se realizaron coordinaciones con las autoridades locales y los propietarios, a fin de solicitar las autorizaciones correspondientes. Luego, se realizó la señalización de los 8 puntos de fotocontrol, mediante marcas de yeso en forma de cruz, con dimensiones de 3 m de longitud y 30 cm de ancho, dispuestas sobre el terreno (Foto 1). Posteriormente, se llevó a cabo la medición de la posición de los puntos de fotocontrol, utilizando el set de instrumentos GPS Trimble R8 RTK (base-rover) y la metodología de Post-Procesamiento Cinemático (PPK), la cual consiste en la utilización de una base y un rover. La instalación de la estación base CHAV se realizó sobre un punto fijo de coordenadas UTM conocidas en donde se realizó la adquisición de datos de manera continua a un intervalo de muestreo de 1 segundo, de tal forma que ambos equipos base y rover registren datos de manera sincronizada. Finalmente, la medición de la posición de los puntos de control se realizó con el equipo GPS rover, el cual fue posicionado sobre el eje central de las marcas de yeso durante un intervalo de 3 segundos, realizando mediciones reiterativas a fin de corroborar y promediar los datos de posición.

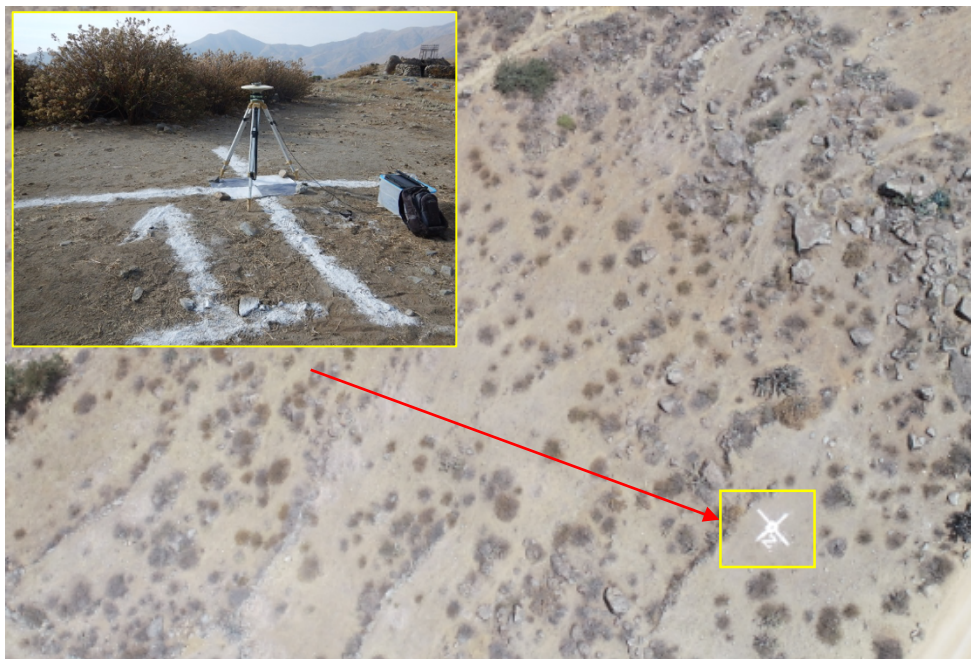


Foto 1. Fotografía aérea donde se logra divisar el punto de fotocontrol CH01, debidamente señalizado (marca y número de punto de fotocontrol correspondiente) ubicado en la localidad de Chavín.

## 7. Datos y Procesamiento

### 7.1 Procesamiento de puntos de fotocontrol

Los trabajos de campo han permitido adquirir datos de posición de 8 puntos de fotocontrol incluida una estación GPS base. Para el procesamiento de datos y la obtención de coordenadas corregidas se utilizó el software Trimble Business Center (TBC). Este software realiza el cálculo de las coordenadas Este, Norte y Elevación de los puntos de fotocontrol mediante la determinación de líneas de base entre la estación GPS base (CHAV-Base) y cada uno de los puntos GPS de fotocontrol. Para ello, el software corrige el retraso de la señal producido por la tropósfera mediante el modelo Hopfield (1971), y realiza la resolución de ambigüedades utilizando los parámetros orbitales de los satélites a partir de las efemérides precisas que proporciona el Servicio Internacional GNSS (IGS) (Trimble survey division, 2012). Finalizado el procesamiento, se obtiene un reporte con las coordenadas corregidas y su precisión final.

### 7.2 Procesamiento de las imágenes aéreas

El levantamiento fotogramétrico con dron en la localidad de Chavín ha permitido obtener 1,891 fotografías aéreas con una resolución espacial de 27.8/píxel. Para el procesamiento de las imágenes se ha utilizado el software Agisoft Metashape 1.6.2 (versión libre). Este software permite procesar miles de fotos, corregir de forma automática errores sistemáticos de las imágenes y genera ortomosaicos georreferenciados de alta resolución y modelos digitales de terrenos de alta precisión y gran exactitud (valores submétricos). Para obtener las curvas de nivel se utilizó el software libre QGIS versión 3.4.

El procesamiento de las imágenes aéreas se llevó a cabo en cuatro etapas: la primera que consiste en la alineación de las imágenes y la generación de nube de puntos a partir de la cual se realizó la densificación y clasificación de estos. En la segunda etapa se efectuó la creación del Modelo Digital del Terreno (MDT). En la tercera etapa se obtuvo el ortomosaico, y en la última etapa se generaron las curvas de nivel con un intervalo de 0.5 metros.

### 7.2.1 Nube de puntos 3D

Una nube de puntos 3D es un conjunto de puntos de una superficie muestreada, posicionados en tres dimensiones X, Y, Z, formando con exactitud milimétrica una entidad física y representando su superficie externa. Dicha nube contiene vasta información métrica sobre las superficies escaneadas, así como la relativa a su color y reflectividad del material. Para el presente estudio la densificación de la nube de puntos generada es de 8.48 puntos/m<sup>2</sup>.

### 7.2.2 Modelo digital del terreno

Un modelo digital del terreno (MDT) es una representación digital de la superficie terrestre, el cual se puede generar con precisión utilizando fotogrametría mediante drones. Se denomina MDT al conjunto de capas (generalmente imágenes raster) que representan distintas características de la superficie terrestre derivadas de una capa de elevaciones, a la que se denomina Modelo Digital de Elevaciones (MDE), el cual representa la superficie del terreno libre de objetos como árboles, construcciones, autos, entre otros (Hutchinson & Gallant, 2000). Luego de la generación de la nube de puntos y el respectivo filtrado, se generó el Modelo Digital del Terreno.

### 7.2.3 Ortomosaico

Un mosaico es el proceso de combinar varias imágenes o fotografías creando una única composición. Se denomina ortomosaico cuando el mosaico es corregido de las distorsiones producidas por el relieve del terreno o de la propia altura de los elementos fotografiados. El ortomosaico constituye la proyección ortorrectificada en dos dimensiones de la zona de estudio. Para construir el ortomosaico se hizo uso del software Agisoft Metashape 1.6.2, se utilizaron 1,891 fotos, este programa permite estimar la calidad de las imágenes, siendo el valor umbral de referencia de calidad 0.5, las fotografías por debajo de ese valor han sido removidas. Luego se alinean las fotos, se estima la posición de cada fotografía, se genera una nube de puntos densa de alta calidad y finalmente se eligen los parámetros para construcción de la ortofoto: modo de mezcla mosaico, tamaño del píxel predeterminado dado que es el que brinda la máxima resolución efectiva, división de bloques de 1024x1024 dado que el área de estudio es de solo 460ha.

#### 7.2.4 Curvas de nivel

Son un sistema de representación de la superficie del terreno, siempre tiene tres dimensiones (largo, ancho y alto) y se definen como líneas imaginarias que resultan de intersectar un terreno con planos horizontales situados a distintas alturas. Dado que los planos horizontales son imaginarios, las líneas de intersección están formadas por todos los puntos del relieve que se encuentran a la misma altura sobre un nivel de referencia, usualmente el nivel del mar. Las curvas de nivel con intervalos de 0.5m, se generaron a partir del Modelo Digital del Terreno, para lo cual se usó el software QGIS versión 3.4.

## 8. Resultados

### 8.1 Coordenadas precisas de los puntos de fotocontrol GPS

Se obtuvieron coordenadas de alta precisión de siete puntos de fotocontrol. En la Tabla 2 se presentan las coordenadas obtenidas en el sistema de proyección UTM zona 18S con precisión centimétrica de  $\pm 1.3$  cm en la componente horizontal y de  $\pm 3.2$  cm en la componente vertical. Estas coordenadas son posteriormente utilizadas para la corrección y georreferenciación de las imágenes durante el procesamiento fotogramétrico.

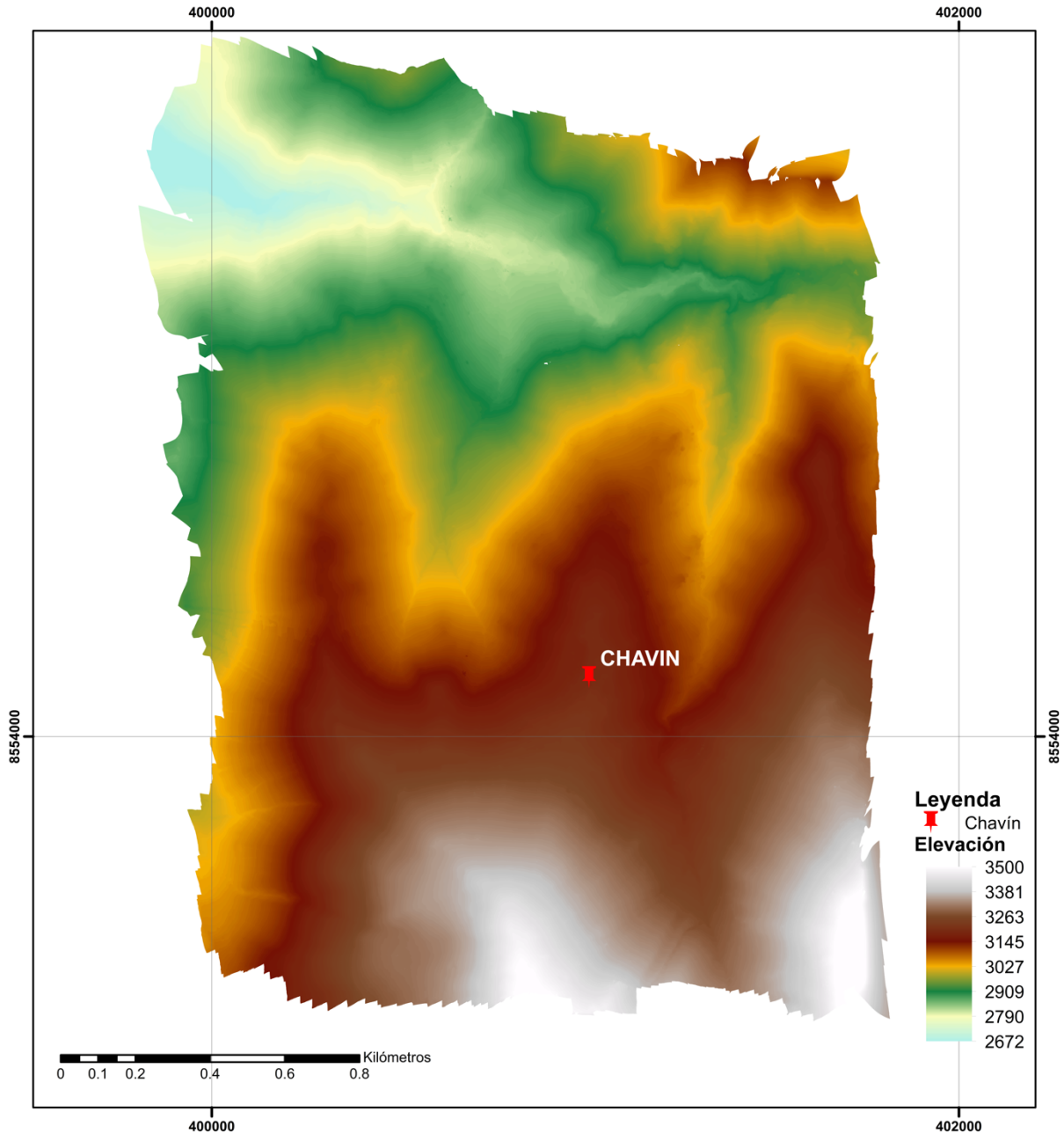
**Tabla 2.** Lista de coordenadas de los puntos de fotocontrol corregidas respecto a la estación base


LOCALIDAD: Chavin PROVINCIA: Chincha DEPARTAMENTO: Ica					
SISTEMA DE COORDENADAS					
NOMBRE: UTM DATUM: WGS 1984 ZONA: 18 (sur)					
ID	Este (Metro)	Norte (Metro)	Elevación (Metro)	Precisión Horizontal (m)	Precisión Vertical (m)
CH02	401674.025	8554159.211	3248.025	0.006	0.009
CH03	400502.419	8555104.123	2933.342	0.013	0.032
CH05	400971.617	8554350.814	3171.658	0.003	0.006
CH07	401304.85	8553685.788	3233.551	0.004	0.011
CH04	401047.336	8555245.197	2874.236	0.009	0.014
CH01	400297.435	8554394.716	3137.743	0.005	0.009
CH06	400049.66	8553517.061	3063.958	0.011	0.017
CHAV	400829.345	8553417.392	3453.679	0.011	0.019

## 8.2 Fotogrametría

### 8.2.1 Modelo Digital del Terreno

Se generó un modelo digital del terreno (MDT) para la localidad de Chavín, distrito de Chincha, departamento de Ica, con una resolución espacial de 27.8cm/píxel. Este mapa contiene información de la superficie del terreno libre de edificios y árboles. En el mapa 2 se presenta el MDT en el que se observan tonalidades que varían de verdes para elevaciones inferiores a 2959 m s. n. m. a amarillas para elevaciones entre 2960 m s. n. m. hasta 3080 m s. n. m. y a marrones para elevaciones superiores a 3080 m s. n. m, de acuerdo con estos resultados se aprecia que la zona de estudio presenta un relieve irregular, caracterizada por partes montañosas y algunas zonas con menos pendientes. La localidad de Chavín se sitúa en la parte central de la zona de estudio a una elevación promedio de 3161m.



 <b>PERÚ</b> Ministerio del Ambiente		 <b>IGP</b> INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ	
<b>Instituto Geofísico del Perú</b> Subdirección de Ciencias de la Tierra Sólida			
LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO MEDIANTE FOTOGRAMETRÍA AÉREA CON DRONE Y MEDICIONES GPS DEL DISTRITO DE CHAVÍN			
MODELO DIGITAL DEL TERRENO (MDT) CHAVÍN			
Responsable del proyecto: Hernando Tavera		Ejecución del proyecto: Juan Carlos Villegas	
Elaborado por: Wendy Quiroz		Escala: 1:13,486	Plano:
Datum: WGS 1984 Proyección: UTM Zona 18 s		Año: 2020	Formato: A 3
			<b>P - 02</b>

**Mapa 2.** Modelo Digital del Terreno de la localidad de Chavín en la provincia de Chincha, departamento de Ica. El marcador rojo representa la ubicación del centro urbano de la localidad.

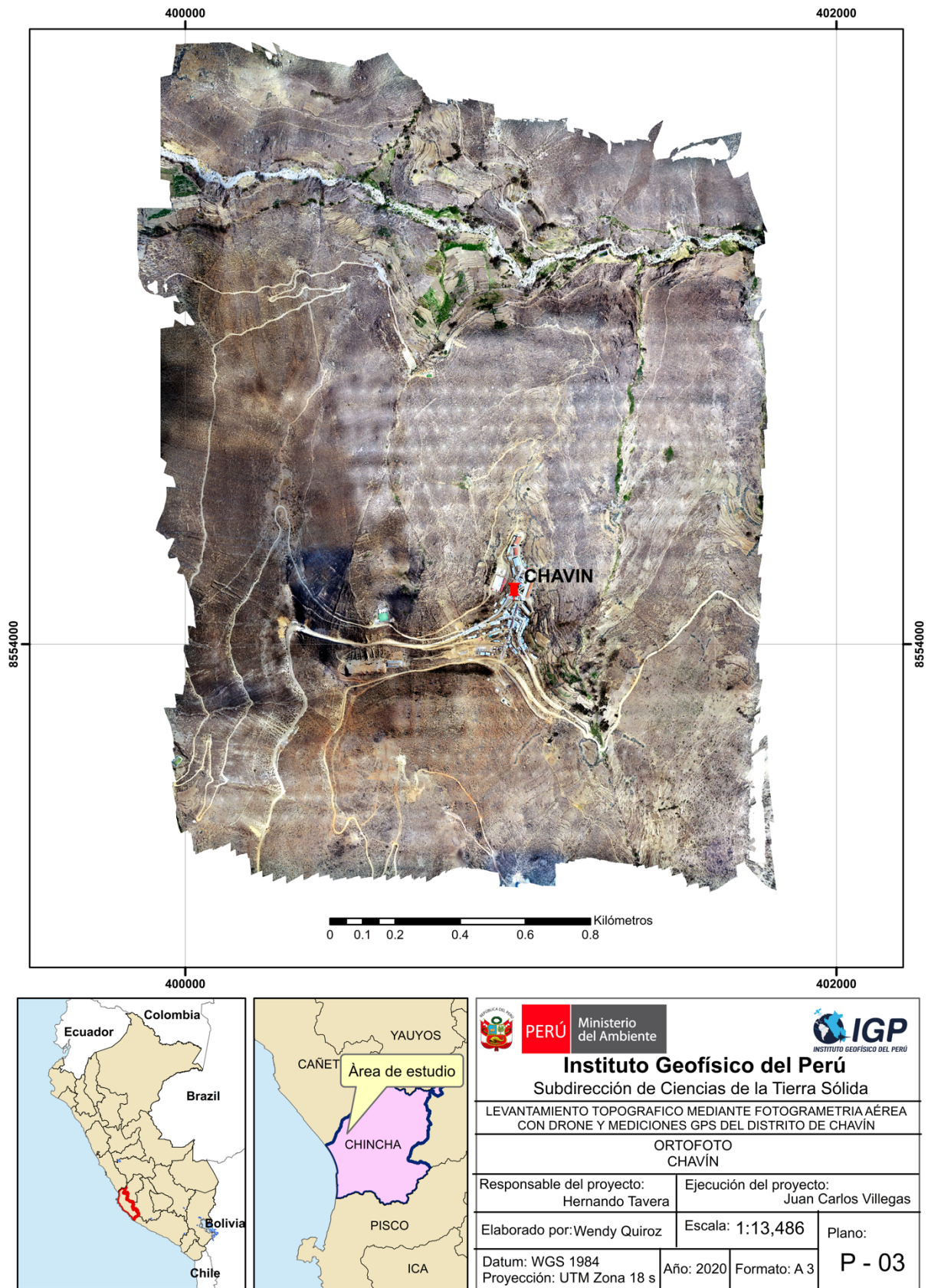


### 8.2.2 Ortomosaico

Se generó un ortomosaico para la localidad de Chavín (Mapa 3), con una resolución espacial de 3.5 cm/píxel. Este mapa a diferencia de Imágenes satelitales (PERUSAT, ASTER, LANDSAT, etc.) cuya resolución espacial mayor a 2.8 m por píxel, permite identificar objetos de dimensiones mayores a 3.5 cm, tales como rocas, arbustos, árboles, viviendas rústicas, terrenos agrícolas, canales de riego, etc. La zona de estudio se caracteriza por ser muy accidentada y presenta quebradas profundas, laderas, planicies y altas montañas, típicos de valles interandinos. En el sector norte del área de estudio se observa una quebrada que es afluente del río Qurbada Topara, donde se aprecian áreas de cultivo, al igual que hacia el SurEste donde se aprecian algunas áreas de cultivo.





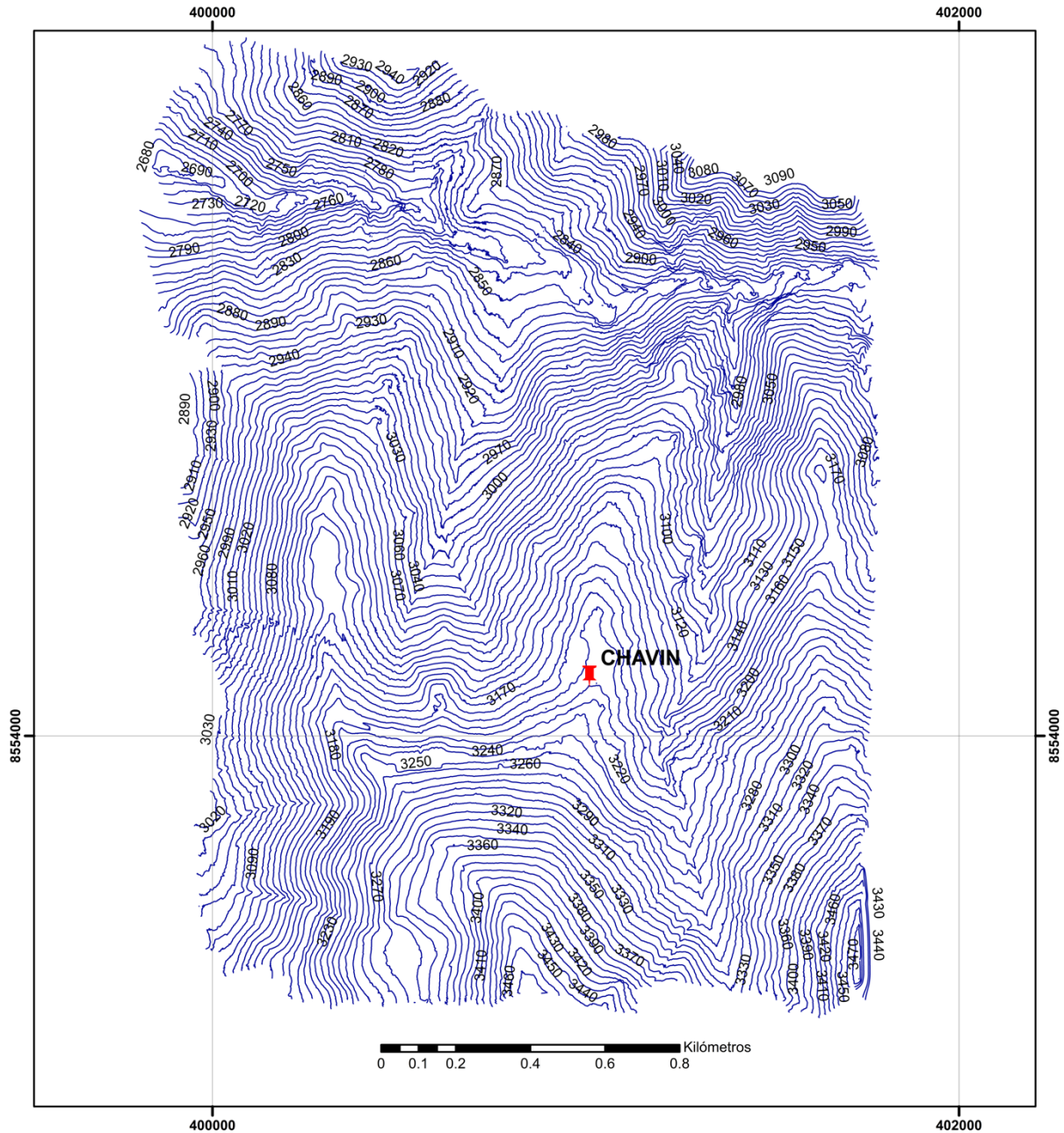


Mapa 3. Ortomosaico de alta resolución de la localidad de Chavín, provincia de Chincha, Ica.

### 8.2.3 Curvas de nivel

En el mapa 4 se presentan las curvas de nivel con intervalos de 0.5 m. En general se observa que la topografía de la zona de estudio es accidentada propia de valles interandinos con elevaciones máximas de 3500 m en la zona sur y mínimas de 2672 en la zona noroeste. La localidad de Chavín se encuentra aproximadamente a 3200 m de elevación en una zona de pendiente suave en la parte alta de una colina cuyo eje tiene una orientación NNE.





<b>Instituto Geofísico del Perú</b> Subdirección de Ciencias de la Tierra Sólida	
LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO MEDIANTE FOTOGAMETRIA AÉREA CON DRONE Y MEDICIONES GPS DEL DISTRITO DE CHAVÍN	
CURVAS DE NIVEL CON INTERVALO 0.5m CHAVÍN	
Responsable del proyecto: Hernando Tavera	Ejecución del proyecto: Juan Carlos Villegas
Elaborado por: Wendy Quiroz	Escala: 1:13,486
Datum: WGS 1984 Proyección: UTM Zona 18 s	Año: 2020 Formato: A 3
Plano: <b>P - 04</b>	

**Mapa 4.** Curvas de nivel con intervalos de 0.5m de la localidad de Chavín en la provincia de Chincha, departamento de Ica.

## 9. Conclusiones

Se llevó a cabo el levantamiento topográfico de alta resolución mediante fotogrametría aérea con dron y mediciones GPS en el distrito de Chavín, provincia de Chincha, departamento de Ica, en un área aproximada de 460 ha. Los productos obtenidos consisten en: 01 un modelo digital del terreno (MDT) con una resolución espacial de 27.8 cm/píxel, 01 ortomosaico con una resolución espacial de 3.5 cm/píxel, y 01 mapa de curvas de nivel cada 0.5 m. De acuerdo con los resultados del MDT y el análisis de las curvas de nivel, la altura máxima y mínima es de 3500 y 2672 metros respectivamente y se ubican al Este y NorEste de la zona de estudio. La localidad de Chavín se encuentra ubicada a 3187 m s. n. m. en una zona de montañas de pendientes moderadas a fuertes. Finalmente, es importante destacar que estos productos tienen una mayor resolución que los generados por el satélite peruano PERU-SAT, cuya precisión espacial es de 70 cm/píxel en pancromático y 2.8 m/píxel en multiespectral, lo cual representa una mejora del 60% y 95%, respectivamente. Al obtener una mayor resolución espacial es posible identificar una mayor cantidad de objetos en el área de estudio, con lo cual es posible realizar un análisis más detallado del terreno.

## 10. Referencias

1. Compendio estadístico del INDECI 2017. Gestión Reactiva. INDECI, 2017.
2. 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>
3. Hutchinson, M., & Gallant, J. (2000). Digital Elevation Models and Representation of Terrain Shape. In J. Wilson, & J. Gallant (Eds.), *Terrain Analysis: Principles and Applications* (pp.29–50). Recuperado de [https://frew.eri.ucsb.edu/private/ESM263/week/7/Representation\\_of\\_terrain.pdf](https://frew.eri.ucsb.edu/private/ESM263/week/7/Representation_of_terrain.pdf)
4. McEwen Robert Barlow, *Orbital photogrammetry: a theoretical study of auxiliary data application*, Cornell University, June 1968
5. Perú, Crecimiento y distribución de la población total, 2017. Censos Nacionales 2017. INEI, 2018.
6. RAE. (2019). Dron. Recuperado 6 noviembre, 2019, de <https://dle.rae.es/?id=ED2QqnQ>
7. Trimble survey division. (2012, noviembre). Trimble HD-GNSS processing. Recuperado 12 diciembre, 2019, de [http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-629483/022543-550\\_Trimble%20HD-GNSS%20White%20Paper%20-%20English.pdf](http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-629483/022543-550_Trimble%20HD-GNSS%20White%20Paper%20-%20English.pdf)
8. USGS. (2014). Ground Control Points. Recuperado 12 noviembre, 2019, de <https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/ground-control-points>
9. Wolf, P.R. and Dewitt, B.A. (2000) *Elements of Photogrammetry with Applications in GIS*. 3rd Edition.

