

**LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO MEDIANTE FOTOGRAMETRÍA
AÉREA CON DRON Y MEDICIONES GPS
DE ALTO LARAN Y RIO CHICO, 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
Mijaell Alex Berduzco Ancco
Rodrigo Pamo Díaz
Wendy Quiroz Sifuentes

Instituto Geofísico del Perú

Calle Badajoz 169, Urb. Mayorazgo IV Etapa
Teléfono +51 1 317 23 00



TABLA DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN	6
2. OBJETIVO GENERAL	6
3. UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	6
4. MARCO TEÓRICO	7
4.1 PRINCIPIO DE LA FOTOGAMETRÍA.....	7
4.2 PLANEACIÓN DE UN PROYECTO DE VUELO FOTOGAMÉTRICO	7
5. MATERIALES Y EQUIPOS	8
5.1 VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO	8
5.2 PUNTOS DE CONTROL GEODÉSICO	8
6. METODOLOGÍA	8
6.1 PLANES DE VUELO	9
6.2 SELECCIÓN, SEÑALIZACIÓN Y MEDICIÓN DE LOS PUNTOS DE FOTOCONTROL.....	11
7. DATOS Y PROCESAMIENTO	11
7.1 PROCESAMIENTO DE PUNTOS DE FOTOCONTROL.....	11
7.2 PROCESAMIENTO DE LAS IMÁGENES AÉREAS	12
7.2.1 NUBE DE PUNTOS 3D.....	12
7.2.2 MODELO DIGITAL DEL TERRENO.....	12
7.2.3 ORTOMOSAICO.....	13
7.2.4 CURVAS DE NIVEL	13
8. RESULTADOS	13
8.1 COORDENADAS PRECISAS DE LOS PUNTOS DE FOTOCONTROL GPS	13
8.2 FOTOGAMETRÍA	16
8.2.1 <i>Modelo Digital del terreno</i>	16
8.2.2 <i>Ortomosaico</i>	19
8.2.3 <i>Curvas de nivel</i>	22
9. CONCLUSIONES	24
10. REFERENCIAS	25



LISTA DE MAPAS

- Mapa 1.** Mapa de ubicación del área de estudio. La agrupación de los 4 planes de vuelo en forma de cuadrado corresponde a la zona de Alto Larán y la serie de 6 planes de vuelo en dirección W-E corresponden a Río Chico. Los triángulos rojos y verdes representan la ubicación de los puntos de fotocontrol de Alto Larán y Río Chico respectivamente y la estación base con código LRAN.
- Mapa 2.** Modelo Digital del Terreno de la zona de estudio Alto Larán en la provincia de Chincha, departamento de Ica. Se aprecia la resolución alcanzada en el recuadro de color rojo.
- Mapa 3.** Modelo Digital del Terreno de la zona de estudio Río Chico en la provincia de Chincha, departamento de Ica. Se aprecia también, la resolución alcanzada en el recuadro de color rojo correspondiente al cauce del río.
- Mapa 4.** Ortomosaico de la zona de estudio de Alto Larán en la provincia de Chincha, departamento de Ica. En la parte inferior izquierda se incluye una captura de la ortofoto ampliada, que muestra la resolución alcanzada en la plaza del distrito de Alto Larán.
- Mapa 5.** Ortomosaico de la zona de estudio de Río Chico en la provincia de Chincha, departamento de Ica. En la parte inferior derecha con recuadro rojo se incluye una captura de la ortofoto ampliada del cauce del río y con el recuadro amarillo se observa la diferencia entre la parte plana y las colinas aguas arriba.
- Mapa 6.** Curvas de nivel con intervalos de 5 m de las zonas de estudio Alto Larán y Río Chico, provincia de Chincha, departamento de Ica. Se observa capturas que detallan la configuración de las curvas en cada zona de estudio.

LISTA DE TABLAS

- Tabla 1.** Factores para la ejecución de los planes de vuelo.
- Tabla 2.** Planes de vuelo de las zonas de estudio para la adquisición de las fotografías aéreas.
- Tabla 3.** Coordenadas UTM de los puntos de fotocontrol para la zona de estudio de Alto Larán, donde se observan la precisión alcanzada para cada punto.
- Tabla 4.** Coordenadas UTM de los puntos de fotocontrol para la zona de Río Chico, donde se observan la precisión promedio para cada punto.



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 (San Pedro de Huacarpana, Chavín, Alto Larán y San Juan de Yanac), con la finalidad de generar información que permita identificar y caracterizar las zonas donde podrían ocurrir deslizamientos, desbordes del río, derrumbes, entre otros.

En el presente estudio se ha realizado el levantamiento topográfico planimétrico de la localidad de Alto Larán y Río Chico con áreas levantadas de 746.20 y 1942.46 ha respectivamente, mediante la utilización de un Dron o Vehículo Aéreo no Tripulado e instrumentos GNSS, lo que ha permitido recolectar 5217 fotografías y medir la posición de 11 puntos de fotocontrol para Alto Larán y 6360 fotografías y de 20 puntos de fotocontrol para el cauce del Río Chico

El procesamiento de datos se ha llevado a cabo 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 planimétrico de alta resolución. Los productos obtenidos consisten en un modelo digital del terreno, una ortofoto y curvas de nivel de alta precisión para cada zona de estudio, que sirven de base para la modelización y estudio de inundaciones, diseño de drenajes, planificación territorial, etc.

2. Objetivo General

Realizar el levantamiento topográfico planimétrico de alta resolución en el distrito de Alto Larán y su río anexo Río Chico en la provincia de Chincha, utilizando el método de fotogrametría aérea con un VAN y mediciones GNSS/GPS.

3. Ubicación de la zona de estudio

La zona de estudio se encuentra situada en el distrito de Alto Larán y parte del río estudiado se encuentra en el distrito de Chincha Baja, provincia de Chincha, departamento de Ica, entre las coordenadas UTM Este 370000 y 392500, Sur 8510000 y 8516000, a una elevación promedio de 233 m s.n.m (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 registro, 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 de 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 debido a las diversas aplicaciones que abarca, haciendo, que la fotogrametría aérea sea utilizada en muchas más áreas de las que inicialmente estaba disponible. Las técnicas que actualmente se utilizan se basan en las 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 posible elaborar mapas de alta resolución, realizar mediciones de longitudes, áreas, volúmenes, y hasta modelar superficies en 3D con alta precisión; pero con notables 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, es necesario realizar la planificación de un proyecto de vuelo fotogramétrico. Para esto se deben considerar las condiciones atmosféricas locales, las características topográficas de la zona de estudio, los límites del área de estudio, la escala del mapa que se busca obtener, la precisión requerida, etc. Con esta información se determinarán parámetros importantes del vuelo, como son la altura de vuelo, separación entre líneas, velocidad, entre otros.



5. Materiales y equipos

5.1 Vehículo aéreo no tripulado

Un dron o Vehículo Aéreo no Tripulado (VAN), es una aeronave que tiene la habilidad de volar sin piloto a bordo (RAE, 2019a), 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 V2.0, de un peso total de 1.4 kg, con una cámara de 20 megapíxeles, que permite obtener imágenes de alta resolución (5000x4000 píxeles), un set de 6 baterías que garantizan una autonomía de vuelo de hasta 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). Los 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 a establecerse en terreno, se realizó la revisión de información sobre los rasgos geológicos, geográficos y accesibilidad a la zona de estudio. La posición de los puntos de fotocontrol fue medida utilizando instrumentos de posicionamiento GNSS diferencial, que consiste en receptores modelo Trimble NET RS, Trimble NET R9 y Trimble R8 usados para base y móvil, también el uso de antenas Trimble modelo Geodetic, trípodes topográficos 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 Alto Larán y el río Chico. Preparación de mapas de ubicación de la zona de estudio, elaboración de los planes de vuelo del dron y ubicación preliminar de los puntos de fotocontrol para la adquisición de información posterior 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

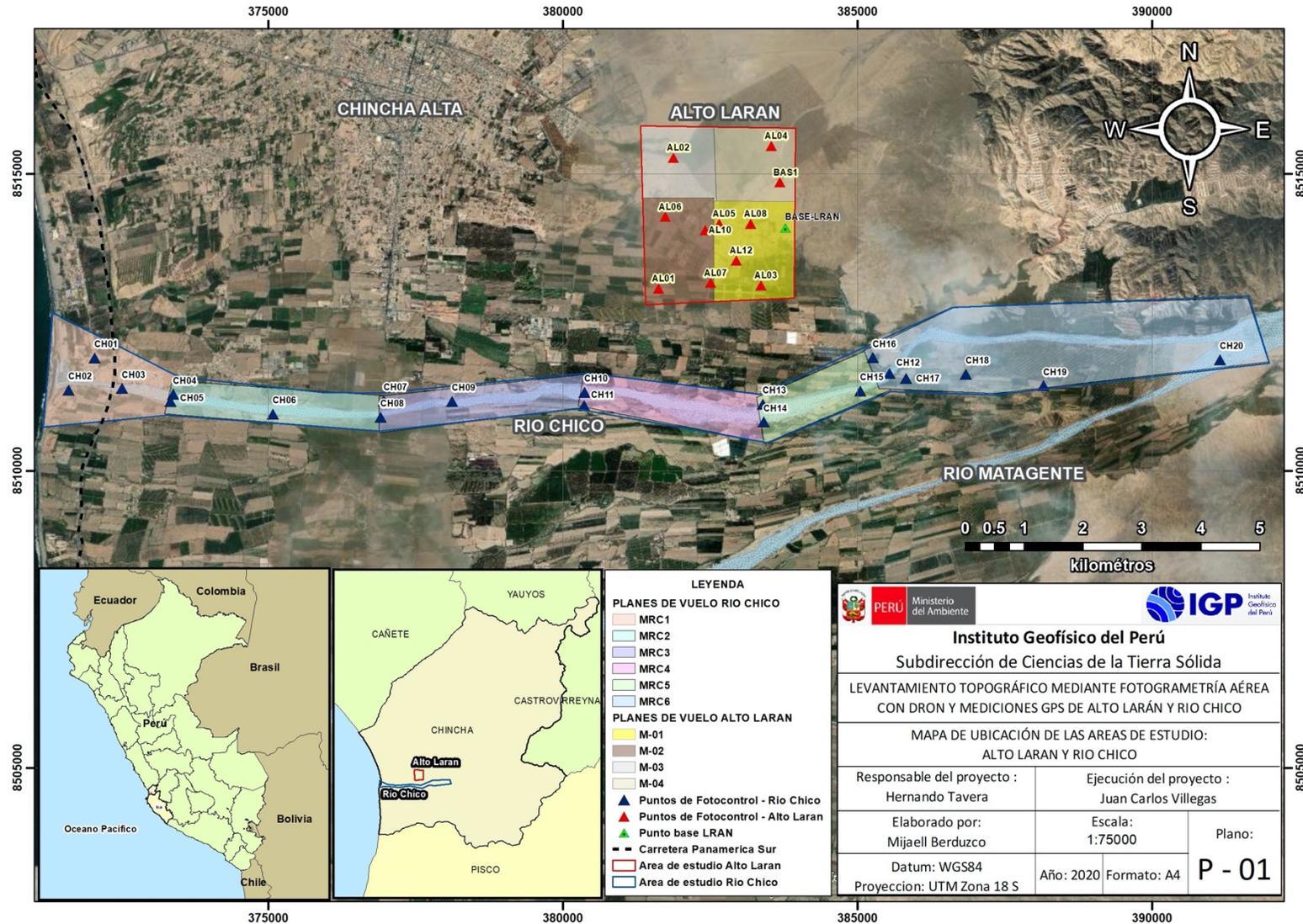
Para llevar a cabo la adquisición de las fotografías aéreas se realizaron 10 (diez) planes de vuelo divididas en dos zonas de estudio: 1) Alto Larán y 2) Río Chico (ver tabla 2 y Mapa 1). Los planes de vuelo fueron creados con el software MapPilot versión 2.9.2. La ventaja de este software es que permite considerar el relieve casi real de la superficie del terreno durante la planificación del vuelo, lo que ayuda a evitar posibles impactos y/o accidentes del dron. Para asegurar la conectividad entre el controlador remoto y el dron en todo momento se mantuvo contacto visual con el dron. Asimismo, se consideraron otros factores que se describen a continuación en la tabla 1:

Tabla 1. Factores para la ejecución de los planes de vuelo.

Factores	1. ALTO LARÁN	2. RIO CHICO
Resolución de cámara	20 megapíxeles	20 megapíxeles
Ground Simple Distance (GSD)	3.7 cm/píxel	8.58 cm/píxel
Altura de vuelo	85 m	90 - 300 m
TRASLAPE Horizontal/vertical	65%/65%	65%/65%
Tiempo de vuelo	No mayor a 20 min.	No mayor a 20 min.

Tabla 2. Planes de vuelo de las zonas de estudio para la adquisición de las fotografías aéreas.

ALTO LARÁN			RIO CHICO		
Código	Área (ha)	Orientación de los planes de vuelo	Código	Área (ha)	Orientación de los planes de vuelo
M-01	218.9	W-E	MRC1	281.3	W-E
M-02	195.4	W-E	MCR2	215.9	W-E
M-03	222.3	W-E	MRC3	209.9	W-E
M-04	207.9	W-E	MCR4	220.5	W-E
			MCR5	218.8	W-E
			MCR6	826.6	W-E



Mapa 1. Mapa de ubicación del área de estudio. La agrupación de los 4 planes de vuelo en la zona norte, corresponde a la zona de Alto Larán y la serie de 6 planes de vuelo en dirección W-E corresponden a Río Chico. Los triángulos rojos y verdes representan la ubicación de los puntos de fotocontrol de Alto Larán y Río Chico, asimismo, se muestra la estación base con código LRAN.



6.2 Selección, señalización y medición de los puntos de fotocontrol

De acuerdo a la ubicación preliminar de los puntos de fotocontrol realizada en gabinete, donde se identificaron accesos, áreas de cultivo, pendientes, objetos, etc.; 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 lugares públicos o en su defecto en propiedad 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 puntos de fotocontrol mediante marcas de yeso en forma de cruz dispuestas sobre el terreno, con dimensiones de 3 m de longitud y 30 cm de ancho. Posteriormente, se llevó a cabo la medición de la posición de los puntos de fotocontrol utilizando un set de instrumentos GPS/GNSS diferencial marca Trimble, modelos NET RS, NET R9 y R8 en la modalidad estático y PPK (Post Processed Kinematic). La instalación de la estación Base de código LRAN se realizó sobre un punto fijo de coordenadas UTM conocidas, en donde se ejecutó la adquisición de datos de manera continua a un intervalo de muestreo de 30 segundos, de tal forma que los equipos base y móvil registren datos de manera sincronizada. Finalmente, la medición de la posición de los puntos de control se realizó con el equipo GNSS/GPS diferencial móvil, el cual fue posicionado sobre el eje central de las marcas de yeso con una duración de 15, 30 y 60 minutos.

7. Datos y Procesamiento

7.1 Procesamiento de puntos de fotocontrol

Los trabajos de campo han permitido adquirir datos de 20 y 11 puntos de fotocontrol de Río Chico y Alto Larán respectivamente, también obtener datos de una estación 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 GNSS entre la estación base (LRAN-Base) y cada uno de los puntos 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 de los puntos de fotocontrol con sus respectivos valores de precisión final.



7.2 Procesamiento de las imágenes aéreas

El levantamiento fotogramétrico con dron en la localidad de Alto Larán permitió obtener 5217 fotografías y 6360 fotografías en Río Chico. Para el procesamiento de las imágenes se ha utilizado el software licenciado Pix4DMapper. Este software permite procesar miles de fotos, corregir de forma automática errores sistemáticos de las imágenes y generar ortomosaicos georreferenciados de alta resolución y modelos digitales de terrenos de alta precisión y gran exactitud. Para generar las curvas de nivel se utilizó el software QGIS versión 3.4.

El procesamiento se llevó a cabo en cuatro etapas; la primera 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 creó el ortomosaico, y en la última etapa se generaron las curvas de nivel.

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 información relativa a su color y reflectividad del material

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 utilizó el software Pix4DMapper, 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.

7.2.4 Curvas de nivel

Son un sistema de representación de la superficie del terreno en tres dimensiones. Se definen como líneas imaginarias que resultan de intersecar un terreno con planos horizontales situados a distintas alturas. Dado que estos 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. Para el presente estudio se generaron curvas de nivel con intervalos de 0.5, 2.5, 5 y 10 m a partir del Modelo Digital del Terreno, utilizando el software QGIS 3.4.

8. Resultados

8.1 Coordenadas precisas de los puntos de fotocontrol GPS

Se obtuvieron coordenadas de alta precisión de 11 puntos de fotocontrol para la zona de Alto Larán con precisión promedio de ± 3 mm en la horizontal y ± 6 mm en la vertical, presentados en la Tabla 3. Para la zona de estudio Río Chico, se obtuvo coordenadas de alta precisión para 20 puntos de fotocontrol con una precisión promedio de 5 mm, el sistema de proyección utilizado es UTM, con DATUM WGG84 y zona 18S, dichas coordenadas son utilizadas posteriormente para la corrección y georreferenciación de imágenes en el procesamiento fotogramétrico.



Tabla 3. Coordenadas UTM de los puntos de fotocontrol para la zona de estudio de Alto Larán, donde se observan la precisión alcanzada para cada punto.

LOCALIDAD: ALTO LARÁN PROVINCIA: CHINCHA REGION: ICA					
SISTEMA DE COORDENADAS NOMBRE: UTM DATUM: WGS 1984 ZONA: 18 (sur)					
ID	Este (m)	Norte (m)	Elevación (m)	Precisión Horizontal (m)	Precisión Vertical (m)
LRAN-BASE	383777.761	8514089.855	277.764		
AL01	381627.099	8513074.418	131.164	0.003	0.017
AL02	381875.686	8515276.631	186.309	0.002	0.005
AL03	383363.616	8513123.038	153.585	0.003	0.004
AL04	383538.547	8515473.265	244.913	0.002	0.003
AL05	382650.504	8514162.061	175.698	0.002	0.005
AL06	381737.103	8514278.869	156.949	0.003	0.007
AL07	382508.168	8513166.587	144.523	0.003	0.005
AL08	383189.283	8514160.950	188.383	0.006	0.011
AL10	382417.487	8514054.463	170.690	0.003	0.005
AL12	382944.670	8513546.062	165.995	0.002	0.005
BAS1	383679.299	8514858.714	223.308	0.001	0.003

Tabla 4. Coordenadas UTM de los puntos de fotocontrol para la zona de Río Chico donde se observan la precisión promedio para cada punto.

LOCALIDAD: ALTO LARÁN PROVINCIA: CHINCHA DEPARTAMENTO: ICA					
SISTEMA DE COORDENADAS		NOMBRE: UTM	DATUM: WGS 1984	ZONA: 18 (sur)	
ID	Este (m)	Norte (m)	Elevación (m)	Precisión (m)	
LRAN-BASE	383777.761	8514089.860	277.764		
CH01	372053.166	8511908.350	28.522	0.004	
CH02	371614.904	8511365.540	27.683	0.003	
CH03	372521.396	8511390.320	32.544	0.006	
CH04	373390.633	8511291.790	42.842	0.003	
CH05	373339.240	8511172.030	39.474	0.003	
CH06	375081.830	8510963.520	58.252	0.008	
CH07	376959.584	8511180.400	84.173	0.003	
CH08	376904.524	8510906.840	83.164	0.003	
CH09	378118.407	8511176.270	91.841	0.003	
CH10	380367.209	8511328.960	117.950	0.004	
CH11	380359.712	8511105.710	119.350	0.003	
CH12	385539.101	8511648.190	187.536	0.008	
CH13	383391.530	8511127.600	156.724	0.009	
CH14	383410.751	8510827.920	157.883	0.020	
CH15	385044.466	8511349.330	177.718	0.004	
CH16	385258.131	8511909.910	183.103	0.001	
CH17	385825.286	8511561.610	190.238	0.001	
CH18	386835.700	8511631.720	204.477	0.005	
CH19	388152.115	8511437.650	223.141	0.006	
CH20	391148.464	8511877.970	269.268	0.007	



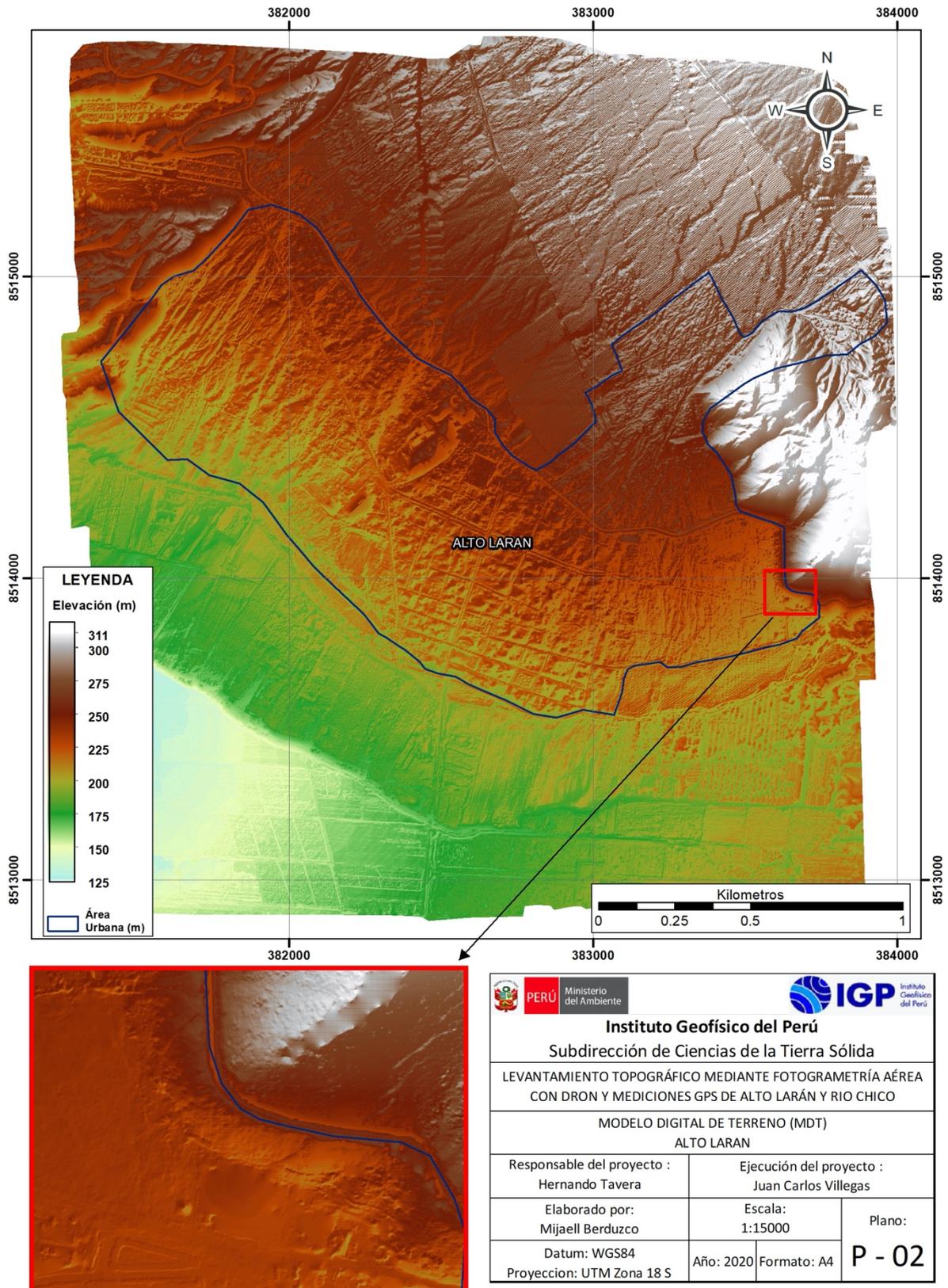
8.2 Fotogrametría

8.2.1 Modelo Digital del terreno

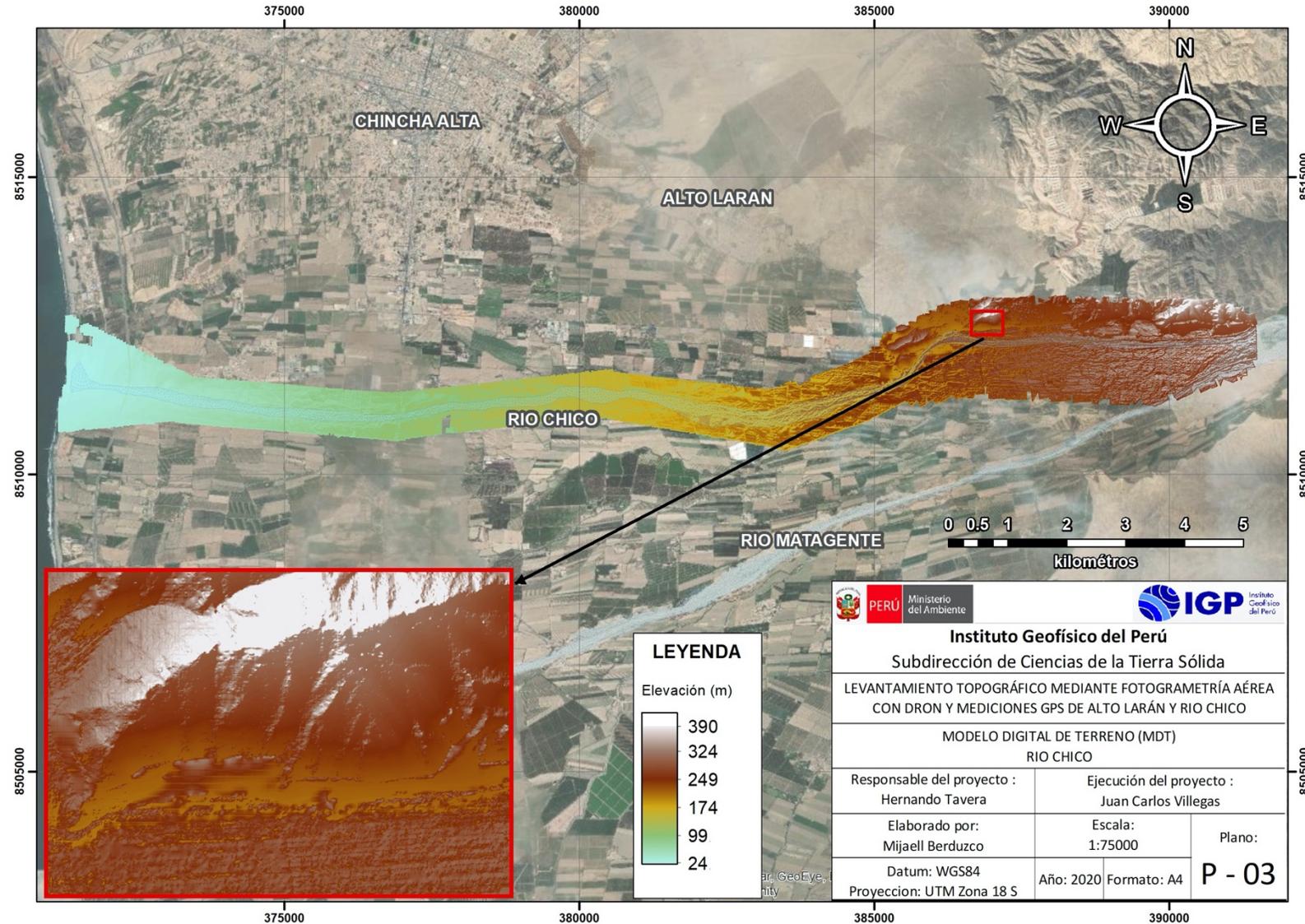
Se generó dos modelos digitales del terreno (MDT), la primera presentada en el mapa 2 corresponde a la zona de estudio de Alto Larán que tiene una resolución espacial de 3.59cm/píxel y presenta variaciones de altura que van de un valor máximo de 311.8 m s.n.m. presente en la parte NE y con topografía elevada, a un valor mínimo de 125.6 m s.n.m., presente en la parte SW conteniendo topografía plana.

En el mapa 3 se presenta el segundo modelo digital de terreno correspondiente a la zona de estudio de Río Chico, mostrando una resolución de 34.3 cm/píxel, en la mayor parte de la zona de estudio se observa un relieve suave y con alturas mínimas de 24.4 m s.n.m. y en la parte aguas arriba(este) se presenta una topografía elevada que llega a tener unas alturas máximas de 390.7 m s.n.m





Mapa 2. Modelo Digital del Terreno de la zona de estudio Alto Larán en la provincia de Chincha, departamento de Ica. Se aprecia la resolución gráfica alcanzada en el recuadro de color rojo.



Mapa 3. Modelo Digital del Terreno de la zona de estudio Rio Chico en la provincia de Chinchipe, departamento de Ica. Se aprecia también, la resolución grafica alcanzada en el recuadro de color rojo correspondiente al cauce del rio.



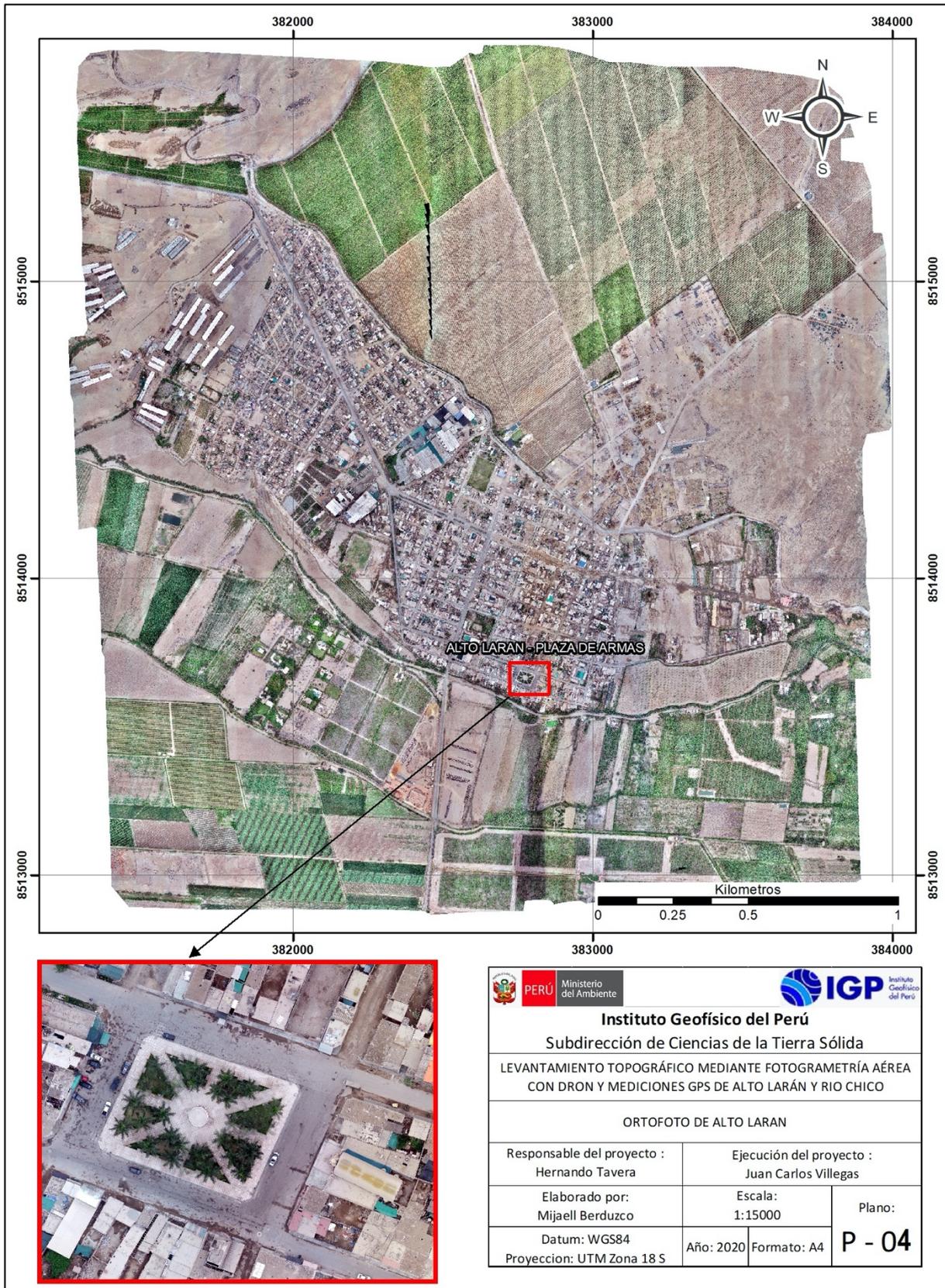
8.2.2 Ortomosaico

Para las zonas de estudio se generaron dos ortomosaicos (Alto Larán y Rio Chico). El primer ortomosaico se aprecia en el mapa 4, generado para la zona de estudio Alto Larán, donde se alcanza una resolución espacial de 3.59 cm/píxel y se observa que Alto Larán se caracteriza por estar ubicada dentro de una gran extensión plana rodeada de grandes amplitudes de cultivos.

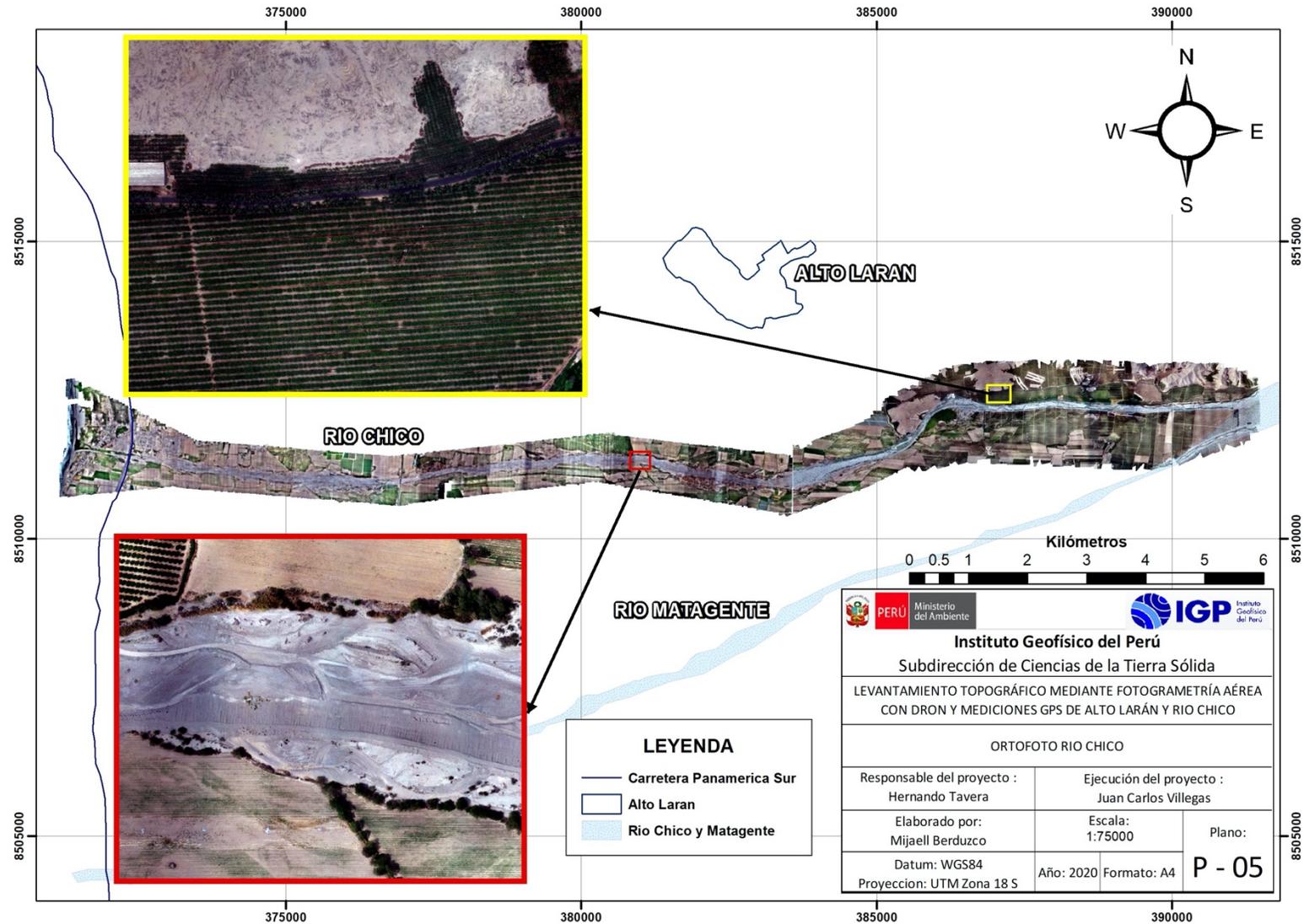
El segundo ortomosaico presentado en el mapa 5, generado para la zona de estudio de Rio Chico, donde se alcanza una resolución de 8.58 cm/píxel mostrando todo el relieve del rio el cual está rodeado por cultivos y se extiende desde la parte costera hasta aguas arriba en la zona de Alto Larán.

Tanto el mapa 4 y 5 a diferencia de Imágenes satelitales (PERUSAT, ASTER, LANDSAT, etc.) cuya resolución espacial es superior a 70 cm por píxel, permite identificar objetos de dimensiones de hasta 3.6 cm en el caso de Alto Larán y 8.58 cm/píxel para Rio Chico, tales como rocas, arbustos, árboles, viviendas rústicas, terrenos agrícolas, canales de riego, etc.





Mapa 4. Ortofoto de la zona de estudio de Alto Larán en la provincia de Chincha, departamento de Ica. En la parte inferior izquierda se incluye una captura de la ortofoto ampliada, que muestra la resolución alcanzada en la plaza del distrito de Alto Larán.



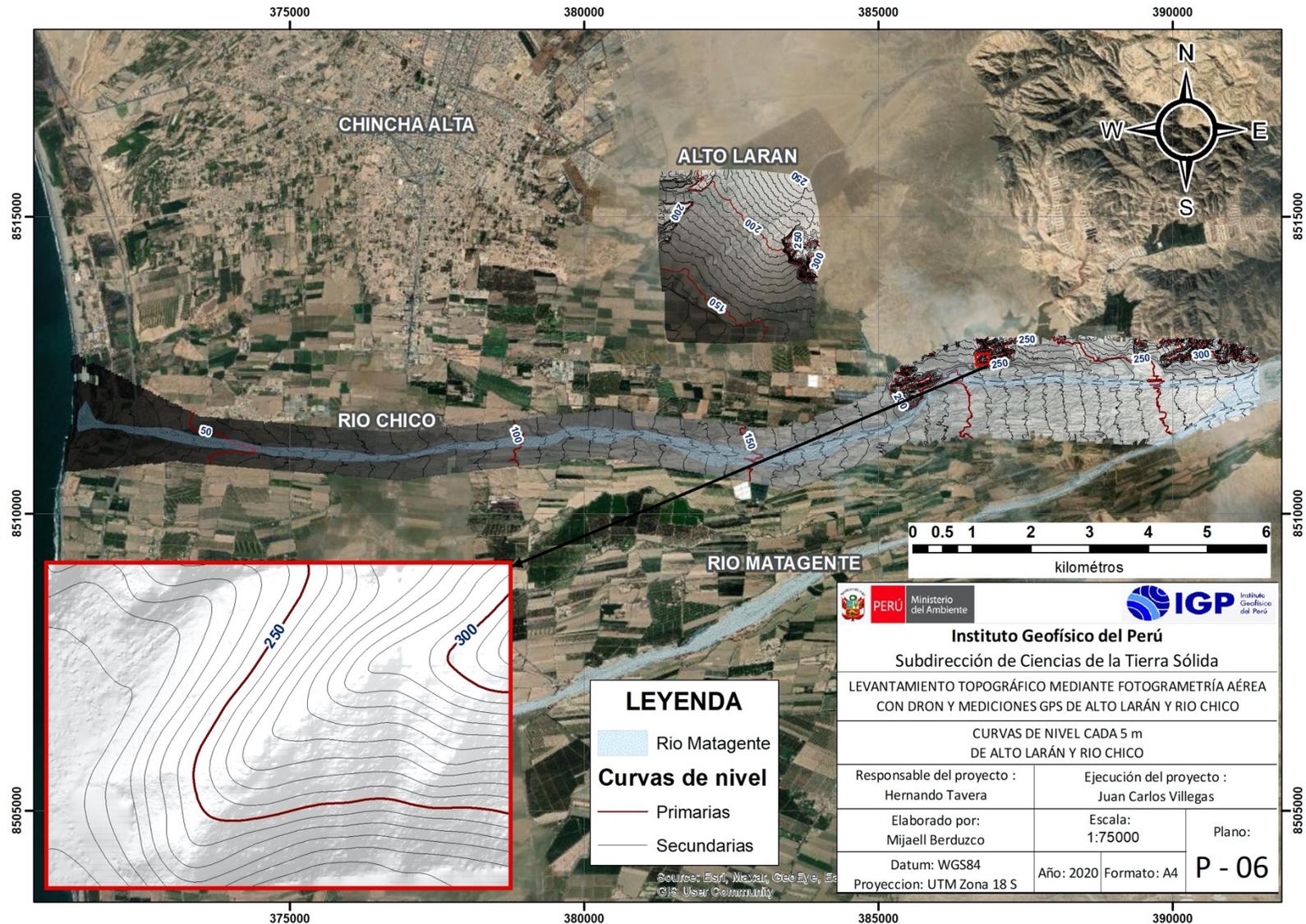
Mapa 5. Ortofoto de la zona de estudio de Río Chico en la provincia de Chincha, departamento de Ica. En la parte inferior derecha con recuadro rojo se incluye una captura de la ortofoto ampliada del cauce del río y con el recuadro amarillo se observa la diferencia entre la parte plana y las colinas aguas arriba.



8.2.3 Curvas de nivel

En el mapa 6 se presentan las curvas de nivel con intervalos cada 5 m para Alto Larán y Río Chico, Con respecto a las curvas de nivel de Alto Larán, resalta los niveles más altos en la parte este con curvas de valor de 350 m s.n.m. y plasma el relieve bajo y plano con 120 m s.n.m. en la zona poblada del mismo distrito. Para el caso de Río Chico muestra configuración plana en general, con desviaciones particulares de las curvas de nivel en la zona del cauce del río, también, se observa el aumento en el valor de las elevaciones conforme se avanza continente adentro de 30 a 350 m s.n.m.





Mapa 4. Curvas de nivel con intervalos de 5 m de las zonas de estudio Alto Larán y Río Chico, provincia de Chincha, departamento de Ica. Se observa capturas que detallan la configuración de las curvas en cada zona de estudio.



9. Conclusiones

Se llevó a cabo el levantamiento topográfico planimétrico de alta resolución de las zonas de estudio de Alto Larán y Río Chico, provincia de Chíncha, departamento de Ica, sumando una extensión total de 2688.66 hectáreas levantadas, distribuidos en 746.20 hectáreas en Alto Larán y 1942.5 hectáreas en Río Chico, para dicho fin, se puso en práctica la fotogrametría aérea con dron y mediciones precisas GNSS/GPS. Los productos obtenidos para Alto Larán consisten en: 01 modelo digital del terreno (MDT) con una resolución espacial de 3.6 cm/píxel, 01 ortomosaico con una resolución espacial de 3.6 cm/píxel y 01 mapa de curvas de nivel cada 5 m, los cuales han sido georreferenciados con coordenadas precisas de 11 puntos de fotocontrol. Conforme los resultados del MDT y el análisis de las curvas de nivel, las elevaciones mínimas son de 125.6 m y se encuentran en dirección SW con respecto a la zona de casco urbano de Alto Larán y las máximas elevaciones de 311 m en dirección NE presentando relieve moderado a alto conforme se aumenta las elevaciones.

Para la zona de estudio de Río Chico los productos obtenidos consisten en: 01 modelo digital de terreno (MDT) con resolución espacial de 34.3 cm/píxel, un ortomosaico con resolución espacial de 8.58 cm/píxel y un mapa de curvas de nivel con intervalo de 5 m, dichos productos fueron georreferenciados por 20 puntos de fotocontrol, de acuerdo con los resultados, se observa que el cauce del río se exhibe claramente por la disposición de las curvas de nivel, asimismo, la zona de estudio evidencia la presencia en su gran mayoría de relieve plano y elevaciones mayores en el extremo este de la zona de estudio, en general las elevaciones varían de 390.7 a 24.5 m.

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 280 cm/píxel en multiespectral, lo cual representa una mejora del 76% 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 eficaz y 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
4. McEwen Robert Barlow, *Orbital photogrammetry: a theoretical study of auxiliary data application*, Cornell University, June, 1968
5. McGlone., Mikhail, E., & Bethel, J. (2004). *Manual of photogrammetry* (5ª ed.) Bethesda, Maryland: American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS).
6. Perú, Crecimiento y distribución de la población total, 2017. Censos Nacionales 2017. INEI, 2018.
7. RAE. (2019a). Dron. Recuperado 6 noviembre, 2019, de <https://dle.rae.es/?id=ED2QqnQ>
8. 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
9. USGS. (2014). Ground Control Points. Recuperado 12 noviembre, 2019, de <https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/ground-control-points>
10. Wolf, P.R. and Dewitt, B.A. (2000) *Elements of Photogrammetry with Applications in GIS*. 3rd Edition.

