UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS

ANÁLISIS COMPARATIVO DEL LEVANTAMIENTO FOTOGRAMÉTRICO-RPAS Y GNSS-RTK, EN PREDIOS AFECTADOS POR DERECHO DE VÍA. PIURA, 2023.

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

ELABORADO POR

ERNESTO POMA AROTINCO

ID: 0009-0006-5713-5266

ASESOR

Ing. ALBERTO JULIO RAMÍREZ ERAZO

ID: 0009- 0008- 7190- 0125

LIMA- PERÚ

2024

© 2024, Universidad Nacional de Ingeniería. Todos los derechos reservados
"**El autor autoriza a la UNI a reproducir la Tesis en su totalidad o en parte, con fines estrictamente académicos**."
Poma Arotinco, Ernesto
epomaa@uni.pe
969621638

DEDICATORIA

A mis padres Amelia Arotinco Gonzales y Lino Juan Poma Gaspar, por la invaluable formación que me brindaron y por estar a mi lado apoyándome incondicionalmente. Su amor, dedicación y sacrificio son la base de mi crecimiento personal y profesional.

A mi querida UNI, que ha sido mi segundo hogar y la fuente de innumerables aprendizajes. y en especial a la Facultad de Ingeniería Civil, por ser mi guía en este camino de conocimiento y por contribuir significativamente a mi formación profesional.

AGRADECIMIENTO

A Dios, a quien agradezco por la inmensa bendición de tener salud y vida cada día, su guía ha sido mi luz en este camino profesional.

A mis hermanos Juan Martin Poma Arotinco e Ignacio Lino Poma Arotinco, quienes han sido un apoyo constante y una fuente inagotable de motivación. Su aliento ha sido fundamental para alcanzar este logro.

Un agradecimiento especial al Ing. Alberto Julio Ramírez Erazo, mi asesor, por su valioso tiempo y dedicación.

ÍNDICE

Resumen **5**
Abstract **7**
Prólogo **9**
Lista de tablas **10**
Lista de figuras **11**
Lista de símbolos y siglas **13**
Capítulo I: Introducción **15**
1.1. Generalidades 15
1.2. Problemática 17
1.2.1. Problema General 17
1.2.2. Problemas específicos 17
1.3. Objetivos 17
1.3.1. Objetivo general 17
1.3.2. Objetivos específicos 18
1.4. Hipótesis planteada 18
1.4.1. Hipótesis general 18
1.4.2. Hipótesis especifica 18
1.5. Antecedentes Investigativos 19
Capítulo II: Marco teórico y conceptual **21**
2.1. Marco teórico 21
2.1.1. Catastro 21
2.1.2. Derecho de vía 21
2.1.3. Sistema de referencia 22
2.1.4. Sistema satelital de navegación global - GNSS 23
2.1.5. Fotogrametría 24
2.1.5.1. Escala de la fotografía 24
2.1.5.2. Recubrimiento 24
2.1.5.3. Distancia focal 24
2.1.5.4. Altura de vuelo 25
2.2. Marco conceptual 25
2.2.1. Catastro en el Perú 25
2.2.1.1. Organismo de Formalización de la Propiedad Informal (COFOPRI) 26
2.2.1.2. Superintendencia Nacional de los Registros Públicos (SUNARP) 26

2.2.1.3. Instituto Nacional de Concesiones y Catastro Minero (INACC) 26
2.2.1.4. Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA) 26
2.2.1.5. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS) 26
2.2.1.6. Superintendencia de Bienes Nacionales (SBN) 27
2.2.1.7. Entidades locales 27
2.2.2. Fotogrametría con aeronave pilotada a distancia (RPA) 27
2.2.3. Conceptos fundamentales para la fotogrametría con RPAS 28
2.2.3.1. Traslape 28
2.2.3.2. Píxel 28
2.2.3.3. Distancia focal 28
2.2.3.4. Ground Sampling Distance (GSD) 28
2.2.3.5. Altura de vuelo 29
2.2.3.6. Plan de vuelo 29
2.2.3.7. Puntos de control 29
2.2.3.8. Nube de puntos 30
2.2.3.9. Ortofoto 30
2.2.3.10. Modelo digital de elevaciones (MDE) 30
2.2.3.11. Modelo digital de terreno (MDT) 30
2.2.4. Componentes de un RPA 30
2.2.5. Tipos de RPA 32
2.2.6. Legislación para levantamiento RPAS y adquisición de predios 33
2.2.6.1. Ley 28294 o Ley del Catastro 33
2.2.6.2. Directiva 01-2008-SNCP/CNC de Tolerancia Catastral Registral 33
2.2.6.3. Texto Único Ordenado del Decreto Legislativo 1192 33
2.2.6.4. Norma técnica geodésica – Instituto Geográfico Nacional (IGN) 33
2.2.6.5. Ley 27261 - Ley de Aeronáutica Civil del Perú 34
2.2.6.6. Ley 30740 - Ley que Regula el Uso y las Operaciones de los Sistemas de Aeronaves Pilotadas a Distancia (RPAS) 34
2.2.6.7. NTC 001-2015 34
Capítulo III: Levantamiento fotogramétrico con RPAS 35
3.1. Ubicación y ámbito del proyecto 35
3.1.1. Ubicación política 35
3.1.2. Ubicación geográfica 35
3.1.3. Localización 38
3.1.4. Clima 38

3.2. Metodología de investigación 38
3.2.1. Enfoque de investigación 38
3.2.2. Nivel de la Investigación 38
3.3. Diseño de la investigación 39
3.4. Población y muestra 39
3.4.1. Población 39
3.4.2. Muestra 40
3.5. Variables de investigación 41
3.6. Instrumentos 42
3.6.1. Reconocimiento del terreno y plan de vuelo 42
3.6.2. Actividades de campo 42
3.6.3. Procesamiento de imágenes RPAS 43
3.7. Etapas del flujo de trabajo 43
3.7.1. Reconocimiento del terreno y planificación de vuelo 43
3.7.2. Actividades de campo 44
3.7.3. Procesamiento de Imágenes 44
3.8. Levantamiento fotogramétrico con equipo RPAS 44
3.8.1. Reconocimiento del terreno y plan de vuelo 45
3.8.1.1. Reconocimiento del área de vuelo 45
3.8.1.2. Comprobación climatológica para el plan de vuelo 45
3.8.1.3. Plan de vuelo 46
3.8.1.4. Ubicación preliminar de punto geodésico y puntos de apoyo fotogramétrico 51
3.8.2. Actividades de campo 54
3.8.2.1. Monumentación y georreferenciación de punto geodésico 54
3.8.2.2. Marcación y medición de puntos de apoyo fotogramétricos (PAF) 57
3.8.2.3. Actividades de vuelo fotogramétrico 59
3.8.3. Procesamiento de Imágenes 60
3.9. Obtención de limites prediales de 32 predios 65
Capítulo IV: Análisis estadístico para validación de datos obtenidos 70
4.1. Análisis en la coordenada Este 71
4.1.1. Prueba de normalidad de los datos en la coordenada Este (m) 73
4.1.2. Resultado de la prueba de Wilcoxon 75
4.2. Análisis en la coordenada Norte 75
4.2.1. Prueba de normalidad de los datos en la coordenada Norte (m) 78

4.2.2. Análisis inferencial prueba t 80
Capítulo V: Tolerancia catastrales registrales de los datos obtenidos 81
5.1. Datos obtenidos con levantamiento GNSS - RTK 81
5.2. Datos obtenidos con levantamiento RPAS 82
5.3. Comparación de áreas obtenidas 83
5.4. Validación de datos según la tolerancia catastral registral 84
Capítulo VI: Análisis comparativo de datos obtenidos 88
6.1. Análisis de la diferencia del levantamiento RPAS y GNSS- RTK 88
6.2. Análisis de tolerancia catastral registral 88
6.3. Análisis comparativo de tiempos 89
6.4. Análisis comparativo de costos 90
Conclusiones 93
Recomendaciones 95
Referencias bibliográficas 96
Anexos 101

Resumen

La presente investigación tiene como objetivo principal realizar una comparación del levantamiento fotogramétrico con el Sistema de Aeronave Pilotada a Distancia (RPAS) y el levantamiento topográfico GNSS – RTK. El propósito es obtener una evaluación confiable del levantamiento fotogramétrico con RPAS en las actividades de adquisición de predios afectados por el Derecho de Vía.

El nivel de la investigación es aplicativo, de enfoque cuantitativo, de diseño cuasi – experimental con carácter transversal. La población de la investigación estuvo determinada por un área total de 18.10 ha con una muestra de 32 predios urbanos dentro del derecho de vía, los cuales están ubicados en la Ciudad de Chulucanas, Distrito de Chulucanas, Provincia de Morropón, Región Piura. Para el análisis se consideró las desviaciones de los centros geométricos (Este y Norte) así como la variación de áreas obtenidas en los 32 predios para poder calcular los parámetros de Tolerancia Registral Catastral, análisis estadístico, cálculo de precisión, comparativa de tiempos y costos.

Se consideró la monumentación de 01 punto geodésico (PG) de Orden C con el código “PIU 04369” georreferenciada con la estación de rastreo permanente de orden “0” y código “PI06” ubicado en el centro municipal de las lomas, provincia de Piura y región Piura. Posteriormente se obtuvo las coordenadas del punto geodésico “PIU 04369” Este: 592750.6230 y Norte: 9435568.7680 zona: 17 sur, y así poder realizar los trabajos de levantamiento topográfico GNSS – RTK utilizando el equipo GPS diferencial CHCNAV I90 y para el levantamiento fotogramétrico RPAS se utilizó el Dron DJI Phantom 4 Pro con 7 puntos de apoyo fotogramétrico (PAF) sobre el terreno separados una distancia máxima de 250 metros.

En los resultados de comparar las áreas obtenidas en cada predio urbano mediante el levantamiento topográfico GNSS-RTK y levantamiento fotogramétrico RPAS, se observó una variación máxima de 1.87%, la cual corresponde al lote 39 y dicho porcentaje está dentro de los valores aceptables según la directiva 001-2008-SNCP/CNC, que establece las tolerancias catastrales registrales. En los resultados del análisis estadístico comparativo de las coordenadas de los centros geométricos (Este y Norte) de cada predio, se obtuvo que en la coordenada Este no existe una diferencia significativa ($p > 0.05$), usando la prueba Wilcoxon, y en

la coordenada Norte tampoco existe una diferencia significativa (p valor = 0.723 > 0.05), usando la prueba t-student. En el cálculo de la diferencia del levantamiento fotogramétrico RPAS y el GNSS - RTK, dio como resultado un valor de 8.18 cm el cual derivó de la comparación de la lectura de los puntos de apoyo fotogramétrico (PAF) con GNSS-RTK y de la ortofoto generada a través del procesamiento de fotografías. El tiempo obtenido para el trabajo de levantamiento topográfico GNSS-RTK fue de 7 días y con el levantamiento fotogramétrico RPAS fue de 5 días. El costo obtenido para el trabajo de levantamiento topográfico GNSS-RTK fue de S/. 3,305.30 y con el levantamiento fotogramétrico fue de S/. 2,987.35, obteniendo un costo por hectárea (ha) de S/. 165.05 en los trabajos de levantamiento con RPAS.

Las conclusiones de la investigación fueron que, para una muestra de 32 predios urbanos, los trabajos de levantamiento fotogramétrico RPAS son una alternativa rápida y económica, que cumplen con las exigencias catastrales dispuestas en la directiva 001-2018-SNCP/CNC. Recomendando el uso del levantamiento fotogramétrico RPAS para las primeras actividades de adquisiciones de predios afectados por el derecho de vía.

Abstract

The main objective of this research is to carry out a comparison of the photogrammetric survey with the Remotely Piloted Aircraft System (RPAS) and the GNSS – RTK topographic survey. Obtaining a reliable evaluation of the photogrammetric survey with RPAS in the acquisition activities of purpose properties affected by the Right of Way.

The level of the research is applicative, with a quantitative approach, with a quasi-experimental design with a transversal nature. The research population was determined by a total area of 18.10 ha with a sample of 32 urban properties within the right of way, which are located in the City of Chulucanas, District of Chulucanas, Province of Morropón, Piura Region. For the analysis, the deviations of the geometric centers (East and North) were evaluated, as well as the variation of areas obtained in the 32 properties in order to calculate the parameters of Cadastral Registry Tolerance, statistical analysis, precision calculation, comparison of times and costs.

The monumentation of 01 geodetic point (PG) of Order C with the code “PIU 04369” georeferenced with the permanent tracking station of order “0” and code “PI06” located in the municipal center of Las Lomas, province of Piura, was demonstrated. . and Piura region. Subsequently, the coordinates of the geodetic point “PIU 04369” East: 592750.6230 and North: 9435568.7680 zone: 17 south were obtained, and thus be able to carry out the GNSS – RTK topographic survey work using the CHCNAV I90 differential GPS equipment and for the RPAS photogrammetric survey. The DJI Phantom 4 Pro Drone was used with 7 photogrammetric support points (PAF) on the ground separated at a maximum distance of 250 meters.

In the results of comparing the areas obtained in each urban property through the GNSS-RTK topographic survey and RPAS photogrammetric survey, a maximum variation of 1.87% will be obtained, which corresponds to lot 39 and said percentage is within the acceptable values according to the Directive No. 001-2008-SNCP/CNC, which establishes cadastral registration tolerances. In the results of the comparative statistical analysis of the coordinates of the geometric centers (East and North) of each property, it was obtained that in the East

coordinate there is no significant difference (p > 0.05), using the Wilcoxon test, and in the East coordinate. North there is also no significant difference (p value = 0.723 > 0.05), using the t-student test. In the calculation of the precision of the RPAS photogrammetric survey, the result was a value of 8.18 cm which was derived from the comparison of the reading of the photogrammetric support points (PAF) with GNSS-RTK and the orthophoto generated through processing of photographs. The time obtained for the GNSS-RTK topographic survey work was 7 days and with the RPAS photogrammetric survey it was 5 days. The cost obtained for the GNSS-RTK topographic survey work was S/. 3,305.30 and with the photogrammetric survey it was S/. 2,987.35, obtaining a cost per hectare (ha) of S/. 165.05 in lifting work with RPAS.

The conclusions of the research were that, for a sample of 32 urban properties, RPAS photogrammetric survey work is a quick and economical alternative, which meets the cadastral requirements established in directive 001-2018-SNCP/CNC. Recommending the use of the RPAS photogrammetric survey for the first acquisition activities of properties affected by the right of way.

Prólogo

Las tecnologías digitales para solucionar problemas cotidianos en el mundo de hoy cambian permanentemente. En el campo de la ingeniería, también los cambios son constantes. De este modo, en el campo de los trabajos que requieren levantamientos topográficos o fotogramétricos, ya se está dejando de usar el método clásico GNSS, muy utilizado por las instituciones públicas a cargo de los registros prediales como SUNARP, para realizar los mismos trabajos con drones RPAS que son sistemas que utilizan aeronaves pilotadas a distancia mediante control remoto, que son adecuados para terrenos y territorios que no presenten densidad de edificaciones y topografía no accidentada.

Todo lo cual demanda que el profesional actual a cargo de tareas topográficas o fotogramétricas conozca la existencia de las nuevas tecnologías por drones para realizar los referidos trabajos.

Es el caso del presente trabajo de investigación, donde el autor ha realizado una investigación bibliográfica y teórica exhaustiva para conocer el procedimiento de trabajo del sistema RPAS, sus tipos, componentes, etc. lo cual permite que seleccione el sistema adecuado con los detalles del caso y lo aplique al caso de 32 predios urbanos afectados por el derecho de vía de una obra vial, en la ciudad de Chulucanas, Provincia de Morropón, Región Piura, para luego confrontar con los resultados de aplicar el sistema tradicional GNSS – RTK.

Este es el aporte que brinda el autor a la Universidad Nacional de Ingeniería y a la comunidad profesional que trabaja en el campo de la topografía y/o fotogrametría, motivo por el cual expreso mi satisfacción y felicitaciones al autor de la presente.

ASESOR

Lista de tablas

Tabla N° 1: Entidades nacionales con catastro 27
Tabla N° 2: Operacionalización de la variable 41
Tabla N° 3: Especificaciones técnicas de operación de la aeronave 47
Tabla N° 4: Características de la estructura del RPAS 47
Tabla N° 5: Especificaciones de la cámara del RPAS 47
Tabla N° 6: Coordenadas preliminares de los puntos PAF, zona 17S 54
Tabla N° 7: Coordenadas del punto geodésico PIU04369, zona 17S 57
Tabla N° 8: Coordenadas de los puntos de apoyo fotogramétrico, zona 17S 58
Tabla N° 9: Datos obtenidos de los predios con RPAS, zona 17 sur. 68
Tabla N° 10: Diferencias absoluta de la coordenada Este, zona 17S 71
Tabla N° 11: Prueba de Normalidad en la coordenada Este 73
Tabla N° 12: Significancia de la prueba Wilcoxon 75
Tabla N° 13: Resultados estadísticos descriptivos 75
Tabla N° 14: Diferencia absoluta de la coordenada Norte, Zona 17S 76
Tabla N° 15: Prueba de normalidad en la coordenada Norte 78
Tabla N° 16: Resultados de la Prueba t 80
Tabla N° 17: Datos obtenidos de los predios con GNSS - RTK 81
Tabla N° 18: Datos obtenidos de los predios con RPAS 82
Tabla N° 19: Comparación de áreas obtenidas 83
Tabla N° 20: Tolerancia catastral en zonas urbanas 84
Tabla N° 21: Tolerancia catastral en zonas rurales 84
Tabla N° 22: Análisis de las tolerancias catastrales registrales 87
Tabla N° 23: Diferencia en los puntos de apoyo fotogramétrico, zona 17S 88
Tabla N° 24: Tiempo de ejecución en el levantamiento GNSS - RTK 89
Tabla N° 25: Tiempo de ejecución en el levantamiento fotogramétrico RPAS 90
Tabla N° 26: Costo del levantamiento GNSS-RTK 91
Tabla N° 27: Costo del levantamiento fotogramétrico RPAS 91

Lista de figuras

Figura N° 1: Mapa del Perú. 35
Figura N° 2: Mapa de la Región Piura. 36
Figura N° 3: Mapa de la Provincia de Morropón. 36
Figura N° 4: Mapa del Distrito de Chulucanas. 37
Figura N° 5: Mapa de la Ciudad de Chulucanas. 37
Figura N° 6: Ubicación del Puente Yapatera. 40
Figura N° 7: Área de vuelo estimada usando software Google Earth. 45
Figura N° 8: Condiciones climatológicas usando el software UAV Forecart. 46
Figura N° 9: Importación del archivo kml a la plataforma digital DronedePloy. 48
Figura N° 10: Ingreso de las características de vuelo. 49
Figura N° 11: Ingreso del tipo de RPAS a sobrevolar. 49
Figura N° 12: Áreas de vuelo 1 y 2 en el software Google Earth. 50
Figura N° 13: Importación del área de vuelo 1. 50
Figura N° 14: Importación del área de vuelo 2. 51
Figura N° 15: Ubicación preliminar del punto geodésico. 52
Figura N° 16: Ubicación preliminar de los puntos PAF, Zona 17. 53
Figura N° 17: Monumentación del punto geodésico PIU 04369. 54
Figura N° 18: Placa de bronce del punto geodésico PIU 04369. 55
Figura N° 19: Colocación de la placa de bronce en el punto geodésico. 55
Figura N° 20: Lectura del punto geodésico PIU04369. 56
Figura N° 21: Ficha ERP PI06. 57
Figura N° 22: Lecturado del Punto de Apoyo fotogramétrico (PAF). 58
Figura N° 23: Plan de vuelo 1. 59
Figura N° 24: Plan de vuelo 2. 60
Figura N° 25: Cantidad de fotografías nativo en JPEG. 60
Figura N° 26: Importación de fotografías al software Agisoft Metashape. 61
Figura N° 27: Orientación de fotografías con Agisoft Metashape. 61
Figura N° 28: Importación de los puntos PAF al Agisoft Metashape. 62
Figura N° 29: Calibración de posicionamiento de los PAF en el Agisoft. 62
Figura N° 30: Creación de nube de puntos densa con Agisoft. 63
Figura N° 31: Clasificación de nube de puntos con Agisoft. 63
Figura N° 32: Creación de Modelo Digital de Terreno. (MDT) 64
Figura N° 33: Creación de la ortofoto mediante Agisoft. 64

Figura N° 34: Importación de la nube de puntos en el Recap Pro 2023. 65
Figura N° 35: Reconocimiento de predio con voladizo en el Recap Pro. 66
Figura N° 36: Separación y eliminación de voladizo en el Recap Pro. 66
Figura N° 37: Resultado de eliminar el voladizo del predio analizado. 67
Figura N° 38: Límites de los 32 predios afectados. 69
Figura N° 39: Desfase en la coordenada Este 72
Figura N° 40: Análisis de normalidad GNSS – RTK (Este) 74
Figura N° 41: Análisis de normalidad RPAS (Este) 74
Figura N° 42: Desfase en la coordenada Norte 77
Figura N° 43: Análisis de normalidad GNSS - RTK (Norte) 79
Figura N° 44: Análisis de normalidad RPAS (Norte) 79
Figura N° 45: Plan de Desarrollo Urbano (PDU) de la Ciudad de Chulucanas. .. 86

Lista de símbolos y siglas

Símbolos:

p : Normalidad.
% : Porcentaje.
°C : Grados Celsius.
S/. : Soles.
Px : Pixeles.
Ho : Hipótesis Nula.
H1 : Hipótesis Alterna.
f_0 : Distancia Focal.
Ha : Hectáreas
MPx : Megapíxeles
Δ : Diferencia

SIGLAS:

CBC : Certificación de búsqueda Catastral
CENEPRED : Centro Nacional de estimación, prevención y reducción del Riesgo de Desastre
COFOPRI : Comisión de Formalización de la Propiedad Informal
CSV : Valores Separados por Comas (Comma separated values)
DoD : Departamento de Defensa (Defense of Department)
ECS : Regulador de Velocidad (Electronic Speed Contoller)
ESA : Agencia espacial europea (European Space Agency)
ERP : Estación de rastreo permanente
Et : Escala del terreno
GeoTIFF : Formato de archivo de imagen etiquetado georreferenciado (Geographic Tagged Image File Format)
GNSS : Sistema global de navegación por satélite (Global Navigation Satellite System)
GPS : Sistema de Posicionamiento Global (Global Positioning System)
GB : Unidad de medida de almacenamiento de datos
GSD : Distancia de muestreo (Ground Sample Distance)

H : Altura del RPAS al terreno topográfico
IGN : Instituto Geográfico Nacional
INACC : Instituto Nacional de Concesiones y Catastro Minero
INGEMMET : Instituto Geológico Minero y Metalúrgico
INRENA : Instituto nacional de Recursos Naturales
ITT : Informe técnico de tasación
JPEG : formato estándar de imágenes digitales (Joint Photographic Experts Group)
KML : Formato de archivo para representar datos geoespaciales (Keyhole Markup Language)
MDE : Modelo Digital de Elevaciones
MDT : Modelo Digital de Terreno
MINAGRI : Ministerio de Desarrollo Agrario y Riesgo
MVCS : Ministerio de Vivienda, Construcción y saneamiento
NTC : Norma Técnica Complementaria
PAF : Punto de Apoyo Fotogramétrico
PDU : Plan de Desarrollo Urbano
PETT : Proyecto especial de titulación de tierras y catastro
RENAC : Registro Nacional de Carreteras
RTK : Cinemática en Tiempo Real (Real Time Kinematics)
RPA : Aeronave pilotada a distancia (Remotely Piloted Aircraft)
RPAS : Sistema de aeronave pilotada a distancia (Remotely Piloted Aircraft System)
SBN : Superintendencia nacional de bienes estatales
SINAC : Sistema Nacional de Áreas de Conservación
SINABIP : Sistema de Información Nacional de Bienes Estatales
SNCP : Sistema Nacional integrado de información Catastral Predial
SUNARP : Superintendencia Nacional de los Registros Públicos
TUO : Texto Único Ordenado
UE : Unión Europea
UHS : Velocidad de Transferencia de datos
WGS : Sistema Geodésico Mundial (World Geodetic system)

Capítulo I: Introducción

1.1. Generalidades

En el Perú, los primeros indicios de catastro aparecieron en áreas rurales debido a la Reforma Agraria, que fue instaurada por la Ley 17716 el 24 de junio de 1969. Esta acción administrativa estaba destinada principalmente a favorecer a los trabajadores agrícolas. A pesar de que las parcelas eran asignados oficialmente, la mayoría no fueron registradas para obtener el título predial correspondiente. De esta manera, el catastro en el Perú se desarrolló de manera el cual fue desordenada, llevando a una situación de informalidad. (Zaldivar & Duffóo, 2021)

En 1992, se creó el Proyecto Especial de Titulación de Tierras y Catastro Rural (PETT) con el objetivó de regularizar física y legalmente las tierras rusticas, eriazas y de los territorios de comunidades campesinas. Luego, en 2007, el PETT fue absorbido por el Organismo de Formalización de la Propiedad Informal (COFOPRI). Fue en estos años cuando se iniciaron los primeros pasos hacia un ordenamiento catastral en el Perú. (Zaldivar & Duffóo, 2021)

El catastro en el Perú se ha desarrollado de forma desordenada e informal, evidenciando por la invasión de áreas que pertenecen a bienes nacionales, como en las ocupaciones ilegales de terrenos en el Derecho de Vía. Por ejemplo, en la construcción de carreteras o nuevas infraestructuras, se observa que las áreas destinadas al derecho de vía están invadidas por propiedades, así como por interferencias eléctricas sanitarias. Para despejar estas áreas, se procede con la compra de propiedades o por la expropiación. Este proceso afecta la programación de las obras, obligando a extender el tiempo necesario para la ejecución de nuevas infraestructuras viales. (France, 2018)

Con este objetivo, se contempla la posibilidad de expropiar los bienes inmuebles de acuerdo con el artículo 70 de la constitución del Perú, el cual establece lo siguiente:

> El derecho de propiedad es inviolable. El Estado lo garantiza. Se ejerce en armonía con el bien común y dentro de los límites de ley. A nadie puede privarse de su propiedad si no, exclusivamente, por causa de seguridad nacional o necesidad pública, declarada por ley, y previo pago en efectivo

> de indemnización justipreciada que incluya compensación por el eventual perjuicio. Hay acción ante el Poder Judicial para contestar el valor de la propiedad que el Estado haya señalado en el procedimiento expropiatorio. (Constitución Política del Perú, 1993)

Para llevar a cabo la expropiación de la propiedad inmueble que están afectando el área de la infraestructura vial, es esencial cumplir con los procedimientos específicos en el Texto Único Ordenado (TUO) del Decreto Legislativo 1192, Este documento regula las características de la adquisición del inmueble, proporcionando al afectado la opción de decidir entre un trámite de Trato directo o, en su defecto, se procederá con la Expropiación del bien.

En el mencionado TUO del Decreto Legislativo 1192 se detallan la mayoría de los tiempos de adquisición (trato directo o expropiación), abarcando etapas como identificación, Informe del Certificado de Bien Catastral (CBC), Informe Técnico de Tasación (ITT), entre otros. La presente investigación se centrará especialmente en la primera etapa adquisición de predios afectados por el derecho de vía, conocida como identificación. Esta etapa es el más determinante para los procesos subsiguientes y, además, es la única etapa en que no se especifican los tiempos de adquisición.

En la etapa de la identificación, se lleva a cabo el reconocimiento del predio mediante un levantamiento catastral que emplea varios métodos. Uno de ellos es el levantamiento topográfico con GNSS-RTK, un método de corrección en tiempo real que se basa en un sistema de satélites conocidas como GNSS, en la cual se obtienen las coordenadas de los vértices de los predios y el perímetro de cada predio a registrar. Otro método de evaluación es el método tradicional, que implica un levantamiento con Estación Total y prisma, donde el prisma se desplaza en los puntos de interés. (Ferreccio, 2006)

Hoy en día, se emplea el Sistema de Aeronave Pilotada a Distancia (RPAS) para obtener información detallada de la superficie terrestre. En el ámbito de los predios, el enfoque se centra en los linderos de cada propiedad o estructuras que intervienen en el área del derecho de vía. Esta información es el resultado de los vuelos de las Aeronaves Pilotadas a Distancia (RPA), las cuales han ganado autonomía en el tiempo de vuelo y han mejorado la precisión del levantamiento fotogramétrico, Además, es importante destacar que la tecnología para procesar los datos recopilados en campo por el RPAS ha mejorado con respecto a las

primeras versiones, por lo que se traduce en datos más precisos y confiables. (Mendoza, 2021)

1.2. Problemática

En la intención de mejorar la Infraestructura vial de las regiones, se observa que el área del Derecho de Vía se encuentra ocupada por edificaciones o de interferencia eléctrica, comunicaciones y sanitarias. Como resultado, la programación de la obra se ve perjudicada. Una alternativa para abordar esta situación es adquirir los predios ubicados dentro del área del Derecho de Vía y reubicar las interferencias eléctricas, de comunicaciones y sanitarias (France, 2018).

1.2.1. Problema General

¿El procedimiento de levantamiento fotogramétrico con Sistema de Aeronave Pilotada a Distancia (RPAS) es más eficiente que un levantamiento GNSS con método RTK, para las medidas de predios o interferencias que están dentro del área del Derecho de Vía y así poder acortar el tiempo y costo de adquisición de predios dentro de un proceso de expropiación para liberar el Derecho de Vía?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿El levantamiento fotogramétrico con el Sistema de Aeronave Pilotada a Distancia (RPAS) cumplen con los requisitos de monumentación del punto geodésico que estipula la norma técnica geodésica del IGN?
- ¿EL levantamiento fotogramétrico con el Sistema de Aeronave Pilotada a Distancia (RPAS) cumple con las tolerancias catastrales registrales del Sistema Nacional Integrado de Información Catastral Predial (SNCP)?
- ¿Los datos obtenidos mediante procedimiento RPAS, de las coordenadas de los predios, tendrán validez estadística?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Realizar el análisis comparativo del levantamiento fotogramétrico con el Sistema de Aeronave Pilotada a Distancia (RPAS) versus el levantamiento topográfico

GNSS – RTK, para determinar la confiabilidad del levantamiento RPAS, evaluando la aceptación de valores dentro de las tolerancias catastrales, y estadísticas establecidas.

1.3.2. Objetivos específicos

- Analizar los resultados de las coordenadas de los predios en los levantamientos utilizados, para poder determinar si cumplen con las tolerancias catastral registrales que estipula el Sistema Nacional Integrado de Información Catastral Predial (SNCP).
- Realizar un análisis estadístico de los desfases de coordenadas de predios afectados por el derecho de vía, para garantizar la confiabilidad de datos.
- Analizar la comparativa de los tiempos y costos que se usó en los diferentes métodos de levantamientos.

1.4. Hipótesis planteada

1.4.1. Hipótesis general

El levantamiento fotogramétrico con el Sistema de Aeronave Pilotada Remotamente (RAPS) generará datos confiables para determinar las coordenadas de predios involucradas en el área del Derecho de Vía, siguiendo las tolerancias catastrales regístrales y estadísticas. Esto garantizará un tiempo menor en la adquisición de predios que ocupan las áreas del derecho de vía y a un menor costo de trabajos de campo.

1.4.2. Hipótesis especifica

- Las variaciones de las coordenadas de los predios con los levantamientos catastrales utilizados cumplen con las Tolerancias Catastrales Registrales según lo estipulado en la SNCP.
- Los desfases de las coordenadas en los centros geométricos de los predios afectados cumplen con la significancia estadística.
- Los tiempos y costos usando el levantamiento fotogramétrico RPAS son menores con respecto al levantamiento GNNS – RTK.

1.5. Antecedentes Investigativos

Chambilla y Mamani (2018), en su investigación “Diferencias de áreas de predios catastrales con estación total, drones e imágenes satelitales del centro poblado de Salcedo – Puno”, el objetivo principal fue determinar las áreas catastrales de los predios urbanos en el centro poblado de Salcedo, ubicado en el distrito de Puno, Provincia de Puno, Región Puno. Para el cálculo de las áreas de los predios se emplearon tres métodos: levantamiento con estación total, levantamiento con drones y levantamiento con imágenes satelitales SENTINEL 2A. Luego, se compararon las áreas obtenidas por cada método. Los resultados del estudio revelaron que, de los 10 predios analizados, se encontraron diferencias en las coordenadas de 7 predios. Asimismo, en la comparativa entre el levantamiento con estación total e imágenes satelitales se observaron diferencia en las coordenadas en los 10 predios. Por último, al comparar las áreas obtenidas mediante levantamiento con drones e imágenes satelitales, se identificaron diferencias en las coordenadas de todos los predios.

Mendoza (2019), el estudio “Evaluación de precisión planimétrica y altimétrica en un levantamiento fotogramétrico realizado por una aeronave pilotada a control remoto” se centra en evaluar la precisión de la aeronave pilotada a distancia (RPA) Phantom 4 Pro y el levantamiento fotogramétrico para generar una nube de puntos y su correspondiente ortofoto. El objetivo específico, es recopilar datos de la aeronave pilotada a distancia (RPA) para procesar las imágenes y obtener una nube de puntos y ortofotos, permitiendo así determinar la precisión del levantamiento fotogramétrico. Los resultados indican que en las áreas de las quebradas se registraron errores menores a los 12 cm en las coordenadas planares y errores de 45 cm en la altitud. Cerca del eje de la vía, los errores fueron de 14 cm en coordenadas planares y de 21 cm en la altitud. La investigación concluye que, para zonas rurales, la precisión de los resultados depende de la topografía del terreno.

Aroni (2020), en la investigación titulada “Análisis del levantamiento catastral GNSS(RTK) y base grafica COFOPRI, de predios afectados por derecho de vía, Región Ancash”, el objetivo general es realizar un análisis estadístico de los resultados del levantamiento catastral con el método GNSS – RTK y la base gráfica de COFOPRI de los predios afectados por el derecho de vía. La población de muestreo consistió en 20 predios ubicados en el distrito de Huacaschupe,

Provincia de Pallasca, Región Ancash. El objetivo específico incluye el análisis de las coordenadas de los centroides de las áreas para obtener los desfases en los ejes X e Y, dentro de los márgenes de lo estipulado en la norma técnica geodésica del IGN. La investigación concluye que existe una diferencia significativa entre el levantamiento catastral GNSS(RTK) y la base grafica de COFOPRI, con un desfase de 68.89 metros. Esta disparidad representa un problema grave al realizar el saneamiento físico legal de estos predios.

Morales (2021), en estudio titulado “Aplicación de fotogrametría con dron para la actualización de los factores físicos del catastro urbano del Distrito de Ticapampa - Recuay - Ancash – 2019”, tuvo como objetivo mejorar la eficiencia de los servicios municipales en el distrito Ticapama, facilitando la gestión y administración ydel desarrollo urbano para actualizar el catastro. La investigación se enmarco en el tipo de investigación descriptivo, con una orientación aplicativa, enfoque cuantitativo y el nivel fue descriptivo no experimental transversal. Se utilizo una Aeronave no tripulada (dron) para realizar los trabajos, obteniendo una cartografía básica en escala 1:1000 y especificaciones técnicas para el posicionamiento geodésico estático relativo. Se concluyo que la fotogrametría con drones es altamente eficaz para la actualización de los aspectos físicos del catastro urbano.

Visalot (2022), en su investigación titulada “Aplicación de la fotogrametría RPAS en la zonificación urbana del sector Manchibamba, chachapoyas”, se aborda el crecimiento acelerado de la poblacional de la ciudad de chachapoyas, lo cual requiere nuevas estrategias para el desarrollo de una zonificación adecuada en la ciudad de estudio. El objetivo es obtener una zonificación apropiada para lo cual se utilizó la tecnología del sistema de aeronaves tripuladas a distancia (RPAS), mediante la cual se realizó un sobrevuelo de la ciudad de chachapoyas para obtener un modelo digital de elevaciones (MDE). Este MDE permitió tener una representación dinámica de las diferentes áreas de la ciudad. El trabajo de investigación concluye que los productos obtenidos con la aeronave tripulada a distancia (RPA), como las ortofotos son fundamentales para la distribución de las parcelas en las diversas áreas de la ciudad. Además, el modelo digital de elevaciones (MDE) facilito la buena distribución de las superficies del terreno.

Capítulo II: Marco teórico y conceptual

2.1. Marco teórico

2.1.1. Catastro

La palabra “catastro” tiene su origen del griego “κατὰστίχον” que significa “registro” o “lista”, se entiende al catastro como el control administrativo de la riqueza de un territorio en general. En la distribución de un país, el catastro implica la cuantificación de las características de un predio para su registro y limitaciones asociadas. (Zaldivar & Duffóo, 2021)

En la evolución del catastro se observó que, en Babilonia, la propiedad de las tierras estaba regulada de manera legislativa, otorgando privilegios a los sacerdotes. En la antigua Grecia, se llevó a cabo una distribución equitativa de la propiedad de las tierras, en lo cual los filósofos de la época dejaban en claro que la distribución debería ser equitativa, como lo expresaba el filósofo Fidón de Corinto, unos de los más antiguos legisladores, quien sostiene que era indispensable garantizar la igualdad de número de casas y de ciudadanos. En la civilización del Imperio Romano se dio las características del catastro como se conoce en la actualidad, porque fue en el Imperio Romano donde se dieron cuentas y recaudamientos para asegurar la distribución de las tierras agrícolas. (Martínez, 2019)

2.1.2. Derecho de vía

Los primeros indicios sobre el tema del derecho de vía ante una institución legislativo fueron en el Decreto Ley 20081 (Presidencia de La República,1973), en donde establece lo siguiente:

> La faja de dominio o derecho de vía comprende el área de terreno en que se encuentra la carretera y sus obras complementarias, los servicios y zona de seguridad para los usuarios y las previsiones para futuras obras de ensanche y mejoramiento (art. 3)

Con el paso del tiempo, el derecho de vía ha adquirido una creciente importancia en las obras de infraestructura vial, estableciéndose como un derecho a favor del del estado en una obra de infraestructura pública, y se configura como un bien al servicio público, por ende, tiene las mismas características de un bien de dominio

público como inalienable, imprescriptible e inembargable [Decreto Supremo 034-2008-MTC (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2008)]. En la actualidad el Derecho de Vía y su gestión está regulada en la Ley 27181, Ley General de Transporte y Tránsito Terrestre (Congreso de la Republica del Perú, 2012)

Para el desarrollo del derecho de vía y su gestión en las diversas infraestructuras públicas, es necesario contar con un registro adecuado en el Registro Nacional de Carreteras (RENAC). Esta institución pública gestiona todas las vías inscritas en el Sistema Nacional de Carreteras (SINAC). Es importante señalar que el SINAC no abarca las gestiones de las vías urbanas de los diferentes distritos del país, como se destaca en la Quinta Disposición Complementaria y Fines del Decreto Supremo 034-2008-MTC. (Prado, 2021)

2.1.3. Sistema de referencia

Sistema de referencia es una estructura geométrica utilizada para referencias las coordenadas de un punto en el espacio. Este sistema cuenta con tres ejes guías coordenados los cuales se constituyen por conjuntos de parámetros, modelos convencionales y algoritmos. A este sistema de referencia siempre se le tendrá que asociar un elipsoide con sus parámetros matemáticos como es la forma, el tamaño, constantes gravitacionales y velocidad de rotación los cuales dan a conocer una representación de la tierra. A nivel global se han desarrollado marcos de referencia que son modelos estándar a nivel internacional reconocidos. En los ámbitos locales de diversas regiones de nuestro territorio existen representaciones específicas de este sistema de referencia, denominado datum (Berné, Garrido, & Capilla, 2019)

Tomando como ejemplo el datum o sistema de referencia geodésica WGS84, el cual es una convención desarrolla por el servicio geográfico de la armada de los Estados Unidos, se destaca que el sistema de referencia WGS84 se desarrolló utilizando más de 1500 sitios terrestres, cuyas coordenadas se derivaron de observaciones Doppler. Actualmente, el WGS84 se utiliza ampliamente en gran parte del continente americano para calcular el posicionamiento de un punto en la zona terrestre de estudio. (Berné, Garrido, & Capilla, 2019)

2.1.4. Sistema satelital de navegación global - GNSS

El termino GNSS (Global Navigation Satellite System) se usa ampliamente para referirse a los sistemas de navegación por satélite que proporcionan posicionamiento geoespacial con cobertura global. Uno de los primeros fue el GPS, de origen estadounidense. Actualmente, se han desarrollado varios sistemas satelitales adicionales, un conjunto de estos son conocidos como el sistema satelital de navegación global. Cada sistema de posicionamiento global está dividido en 3 segmentos, que son conocidos como Segmento Espacial, Segmento de Control, Segmento usuario. (Berné, Garrido & Capilla, 2019)

El Segmento Espacial, constituido por satélites artificiales que están distribuidos en el espacio terrestre, ayuda a la navegación como en la comunicación por las diferentes señales que envían y reciben de cada receptor.

El Segmento de Control. constituido por estaciones centrales que controlan el posicionamiento de los satélites, está encargado de controlar y corregir las órbitas de los satélites del sector espacial.

El Segmento Usuario, constituido por los diferentes tipos de equipos de recepción satelital, que se emplean para el posicionamiento de estos, ya sea de manera estática o de manera dinámica.

En la actualidad tenemos diferentes sistemas de navegación satelital los cuales son:

- Constelación NAVSTAR – Sistema GPS: El sistema de posicionamiento Global (GPS) fue desarrollado en 1973 por el gobierno de Estados Unidos en las instalaciones del Ministerio de Defensa de los Estados Unidos.
- GLONASS – Global Orbiting Navigation Satellite System: está configurado para garantizar la visibilidad de 5 satélites en cualquier punto terrestre y está constituido por 24 satélites que tienen diferentes frecuencias, pero con el mismo código.
- GALILEO: sistema de posicionamiento fue desarrollado por la Unión Europea (UE), en la Agencia Espacial Europea ESA y a diferencia de los otros sistemas de navegación este es de origen y uso civil.

- BEIDOU: Este sistema de navegación por satélite de origen chino actualmente está en su última fase de implementación al sistema de navegación y está constituido de 16 satélites.

- Sistema de corrección diferencial estático en tiempo real RTK

El concepto de corrección por RTK (Real Time Kinematic) consisten en una instalación de una estación fija llamada base, el cual se entrega información de posición geográfica a través de las señales del sistema GNSS. Por otro lado, la estación móvil, conocida como Rover, que también cuenta con disposición GNSS para recibir información satelital. (Berné, Garrido & Capilla, 2019).

2.1.5. Fotogrametría

La Fotogrametría utiliza fotografías del terreno, que permite la representación de la planta y niveles de elevación del terreno topográfico. De este modo se logra obtener los planos para la representación del terreno. (Santamaría & Sanz, 2011)

Una de las aplicaciones es la fotogrametría aérea, el cual permite, bajo algunas condiciones geométricas, obtener planos y mapas aéreas extensas con precisión aceptable. (Quirós, 2014)

2.1.5.1. Escala de la fotografía

La escala de la fotografía es la primera medida que se debe considerar en el vuelo fotogramétrico, con el fin de poder detectar los objetos a una escala mayor. (Quirós, 2014)

2.1.5.2. Recubrimiento

Es el área común que hay entre dos fotografías continuas, las cuales pueden ser áreas comunes tanto en la dirección longitudinal como en la transversal. (Santamaría & Sanz, 2011)

2.1.5.3. Distancia focal

La distancia focal es un dato inherente en las características de la cámara y también limita la altura de vuelo fotogramétrico, dicha distancia se representa como la distancia que existe desde el centro óptico del objetivo hasta el plano focal, donde se captura la imagen. (Quirós, 2014)

2.1.5.4. Altura de vuelo

La altura de vuelo es la medida entre la aeronave y un punto en el terreno topográfico, y su interpretación difiere de la altitud de vuelo, que es una medida desde el nivel medio del mar (Quirós, 2014).

2.2. Marco conceptual

2.2.1. Catastro en el Perú

El catastro se estableció en el Perú en el año de 1856. Posteriormente, la planoteca nacional, que era un conjunto de planos públicos del país, fue transferida al Departamento de Catastro Nacional de la Superintendencia General de contribuciones. (Zaldivar & Duffóo, 2021)

Posteriormente en el gobierno del General Velasco Alvarado se promulgó la Ley de la Reforma Agraria, Ley 17716 de fecha 24 de junio de 1969. Esta legislación tenía como objeto la distribución de las parcelas rurales en las diferentes provincias del país. En esta época, la Dirección de Catastro desempeño un papel administrativo, centralizando y otorgando títulos catastrales a los trabajadores agrícolas por las tierras que cultivaban. Aunque estos títulos catastrales constituían pruebas de propiedad, estas no estaban registrados en un Registro de Predios por lo que se dejaba a la titularidad sin protección legal (Zaldivar & Duffóo, 2021).

Con la proliferación de predios desprotegidos, se generó la informalidad. En respuesta a esta problemática, en 1992 mediante el Decreto de Ley 25902, se dio origen al Proyecto Especial de Titulación de Tierras y Catastro Rural (PETT), el cual realizaría el saneamiento físico legal de las tierras rusticas. En el año 2007, a través del Decreto Supremo 005-2007-VIVIENDA, el PETT se integró al Organismo de Formalización de la Propiedad Informal (COFOPRI). En la actualidad, la administración del catastro rural recae en el Ministerio de Agricultura (MINAGRI), conforme a los establecido por el Decreto Supremo 018-2004-VIVIENDA. (Zaldivar & Duffóo, 2021)

Para el área del Catastro Urbano Nacional, mediante Decreto Legislativo 803, se creó COFOPRI como el organismo encargado de formalizar las posesiones informales urbanas que ocupan propiedades estatales. Y hasta la fecha,

COFOPRI es el organismo responsable del saneamiento físico legal de los predios informales urbanos (Zaldivar & Duffóo, 2021).

A continuación, se mencionan algunas instituciones del Estado a cargo de la administración de predios:

2.2.1.1. Organismo de Formalización de la Propiedad Informal (COFOPRI)

COFOPRI, es un organismo perteneciente al Ministerio de Vivienda que se encarga de la formalización de propiedad informal (Portillo, 2007).

2.2.1.2. Superintendencia Nacional de los Registros Públicos (SUNARP)

Es un organismo adscrito al Ministerio de Justicia, desempeña una función principal que implica la planificación, organización, normativa, dirección, coordinación y supervisión de la inscripción y publicidad de los registros integrados en el Sistema Nacional de los Registros Públicos (SUNARP), simplificando las atribuciones, la SUNARP tiene el objetivo técnico de proceder a la generación y administración de la información catastral de los predios. (Portillo, 2007)

2.2.1.3. Instituto Nacional de Concesiones y Catastro Minero (INACC)

La INACC, es un organismo adscrito al Ministerio de Energía y Minas, Tiene la responsabilidad de ejercer la formulación y mantenimiento del catastro minero nacional mediane el Decreto Legislativo 110, de fecha 12 de junio de 1981 (Portillo, 2007).

2.2.1.4. Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA)

INRENA, es un organismo adscrito al Ministerio de Agricultura y tiene la función de ser el ente rector del Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas y también ejerce la función de la administración catastral según el artículo 8 de la Ley 26834 de fecha de 30 de junio de 1997. (Portillo, 2007)

2.2.1.5. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS)

El Ministerio de Vivienda, Construcción y saneamiento desempeña las funciones normativas y de asistencia técnica para crear o elaborar y mantener un catastro

urbano a cargo de las municipalidades, de acuerdo el Decreto Supremo 027-2003-VIVIENDA de fecha del 03 de octubre del 2003. (Portillo, 2007)

2.2.1.6. Superintendencia de Bienes Nacionales (SBN)

SBN, es un organismo adscrito al Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento que tiene la función de administrar la información catastral relacionado a bienes de propiedad estatal mediante el respaldo del Sistema Nacional de Información de Bienes de la Propiedad Estatal (SINABIP), y ejerce la función mediante el Decreto Supremo 154-2001-EF. (Portillo, 2007)

2.2.1.7. Entidades locales

Las entidades locales, como las Municipalidades provinciales y distritales, también cumplen con la función de creación y mantenimiento del catastro urbano y rural mediante la Ley 27972 o Ley Orgánica de Municipalidades de fecha 26 de mayo del 2003. (Portillo, 2007)

En la Tabla 1, se muestra un resumen de las entidades y las funciones catastrales:

Tabla N° 1:

Entidades nacionales con catastro

Institución	Cargo Estatal	Clase de Catastro
Municipalidades	Gobierno local	Catastro Municipal
Municipalidades Regionales	Gobierno local	Catastro posesiones informales (rural)
COFOPRI	Ministerio de Vivienda	catastro posesiones informales (urbano)
MINAGRI	Gobierno central	Catastro posesiones informales (rural)
INGEMMET	Ministerio de Energía y Minas	Catastro Minero
SERNANP	Ministerio del Ambiente	Catastro de Áreas Protegidas
SUNARP	Ministerio de Justicia	Base gráfica Registral de Predios
SBN	Ministerio de Vivienda	Catastro de bienes estatales
Ministerio de Cultura	Gobierno central	Catastro de Monumentos arqueológicos prehispánicos

2.2.2. Fotogrametría con aeronave pilotada a distancia (RPA)

La tecnología de las aeronaves pilotada a distancia (RPA) tuvo sus comienzos en la primera mitad del siglo XIX, durante la cual tuvo su origen en el ámbito militar con aplicaciones como misiles, bombas guiadas y espionaje. En este último se acondicionada una cámara digital de gran precisión a una aeronave, para obtener

fotografías de gran calidad. A lo largo del tiempo, las aeronaves fueron evolucionando y adaptándose. En el año 2011, la organización de Aviación Civil Internacional reconoce por primera vez a las aeronaves pilotadas a distancia como aeronaves, denominándolos RPA (Remotely Piloted Aircreaft). (Dirección General de Industria, Energía y Minas de la comunidad de Madrid, 2015)

2.2.3. Conceptos fundamentales para la fotogrametría con RPAS

2.2.3.1. Traslape

El traslape es el área que comparten dos fotografías continuas y se representa en porcentajes. La función de estas áreas comunes es la obtención de datos tridimensionales; por lo tanto, se puede afirmar que la precisión de estos datos tridimensionales depende de la cantidad de aérea en común, es decir, a mayor área en común, mayor será la precisión. Estas áreas pueden ser longitudinales o transversales, es decir, áreas de fotografías que siguen la línea de vuelo del RPA y áreas de manera perpendicular a la línea de vuelo, respectivamente. Para los vuelos con RPA se estipula que el traslape mínimo es de 70%. (Orellana, 2021)

2.2.3.2. Píxel

Unidad mínima de información que comprende una imagen y a la cual se le designa un color y un brillo característico, el tamaño de un píxel varia desde 0.1 mm hasta 1 cm. (Ordoñez, 2005)

2.2.3.3. Distancia focal

Es el espacio de separación que existe entre el centro de la lente y la distancia del foco, representado por una letra "f_0". Es una medida importante en la fotogrametría ya que determina la ampliación y la perspectiva de una imagen. (Mena, 2002)

2.2.3.4. Ground Sampling Distance (GSD)

La resolución espacial o GSD (Ground Sampling Distance) se define como la representación de la distancia entre los centros de dos pixeles de la cámara digital proyectada en el terreno natural. Esto implica que a mayor tamaño de GSD, menor será la resolución de la fotografía y, por ende, la calidad de la imagen será mala. El conocimiento del GSD es importante porque influye en la altura de vuelo del

RPA, estableciendo una relación directa: a mayor altura de vuelo mayor es el GSD y menor calidad de la imagen. (Pix4D SA, 2021)

2.2.3.5. Altura de vuelo

Es la distancia perpendicular a la que vuela el RPA sobre el terreno a estudiar. Esta altura guarda relación directa con el tipo de trabajo que se va a realizar, ya que, si se requiere más detalle o escalas de trabajo más grandes, será necesario reducir la altura de vuelo. La relación entre la altura de vuelo y la escala de interés se expresa de la siguiente manera: (GisAndBeers, 2019)

$$\frac{1}{Et} = \frac{\mathrm{f0}}{H}$$

Donde:

- Et : escala a la que deseamos trabajar
- f_0: Distancia focal de la cámara
- H: altitud a la realizamos el vuelo

2.2.3.6. Plan de vuelo

El plan de vuelo constituye una fase anterior al levantamiento fotogramétrico en campo, es decir se evalúan todas las condiciones que pueden afectar la ruta del RPA como son el viento, campos magnéticos, zonas peligrosas, peligro aviar, entre otras dificultades. En esta etapa, se determina la ruta especifica que seguirá el RPA, y se ajustan algunos parámetros para proceder a realizar el vuelo como: la altura de vuelo, los porcentajes de traslapes, el tiempo de vuelo, la cantidad de fotografías. (Orellana, 2021)

2.2.3.7. Puntos de control

Los puntos de control corresponden a puntos identificados desde la altura de vuelo del RPAS, situándose estratégicamente en el área de estudio, estos puntos desempeñan un papel crucial al proporcionar referencias que mejoran la precisión del trabajo. ya que se conoce las coordenadas de estos puntos, y durante el procesado de imágenes con herramientas de fotogrametría, es posible establecer una correlación entre la posición del punto de control en la imagen y las coordenadas reales en el terreno. (GisAndBeers, 2018)

Para la distribución de los puntos de control se debe de hacer de una forma uniforme y focalizada, dependiendo de la forma del terreno y las diferencias de alturas. (GisAndBeers, 2018)

2.2.3.8. Nube de puntos

Después de la ejecución del vuelo fotogramétrico, se obtiene la nube de puntos, la cual constituye un conjunto de puntos que poseen coordenadas conocidas en X, Y, Z. Estos puntos representan la superficie o relieve del terreno que se ha trabajado. Es esencial que estos puntos estén correlacionados entre sí para que permitan hacer cálculos de triangulación entre ellos, lo que resulta en la generación de una superficie tridimensional.

2.2.3.9. Ortofoto

La ortofoto se define como la representación del terreno en una sola fotografía digital con información del área a estudiar, esta ortofoto permite aprovechar la información digital aérea para las correcciones de deformación de imágenes causadas por el desnivel del terreno. (Orellana, 2021)

2.2.3.10. Modelo digital de elevaciones (MDE)

El MDE es la representación de todas las estructuras presentes dentro del área de estudio del vuelo fotogramétrico como, edificaciones, vegetaciones altas, vegetaciones bajas, autos, entre otros. Cada estructura posee características tridimensionales que se capturan en las imágenes y contribuyen a la construcción detallada del modelo de la zona en cuestión. (Orellana, 2021)

2.2.3.11. Modelo digital de terreno (MDT)

Es la representación del terreno desnudo, es decir, la línea del terreno sin las estructuras presentes dentro del área de estudio y se obtiene mediante un proceso de limpieza de puntos del Modelo Digital de Elevaciones (MDE). (Orellana, 2021)

2.2.4. Componentes de un RPA

Las aeronaves tripuladas a distancia (RPA) están constituidas por elementos que desempeñan funciones características para permitir que la aeronave sobrevuele las áreas de interés. Estos elementos incluyen los siguientes componentes:

- Chasis o estructura marco: Es el componente que da forma y soporte al RPA, suele estar fabricado por diferentes materiales como son la fibra de carbono, fibra de vidrio y plásticos cada una usada en diferentes áreas de estudio.
- Motores: Los motores se encargan del funcionamiento mecánico del RPA en la cual consiste en una transformación de la energía eléctrica de la batería en energía mecánica de las hélices.
- Placa controladora: Es la responsable de las coordinaciones del vuelo y es de entender que gracias a esta placa el dron puedo controlar el movimiento de vuelo del RPA y de calcular la ubicación GPS y controlas las velocidades de los motores, la del giroscopio y acelerómetros.
- Sensores: Son las encargadas de recopilar información y monitorear cualquier objeto cercano al vuelo del RPA, es indispensable para determinar la distancia de aproximación de cualquier obstáculo cercano al RPA, los sensores también sirven para obtener información como altura de vuelo, movimiento del giroscopio, fotografía de la zona de estudio.
- GPS: Es el encargo de calcular la ubicación del RPA cuando se encuentra en proceso de recopilar información de la zona de estudia, en la cual se apoya de sistema de posicionamiento global para calcular su ubicación.
- Altímetro: Es un sensor que contienen los RPA para poder determinar la altura respecto a la superficie topográfica a la cual está volando el RPA, la altura se determina con un haz de luz que emite el RPA en pleno vuelo y que rebota en la superficie terrestre.
- ECS (Regulador de Velocidad): Es la encargada de conectar la fuente de energía que viene de la batería y va dirigido a los motores del RPA, su función es necesaria para determinar el voltaje necesario para hacer volar un RPA.
- Batería: Es la encargada de proporcionar la energía eléctrica a los motores del RPA, la naturaleza de los materiales de las baterías con de polímeros de litio que son mejores para almacenar energía eléctrica, y también ayudan a distribuir energía de manera continua.

- Gimbal: Es el componente importante para la estabilidad de la cámara digital de alta precisión que compone al RPA, para asi la información con las fotografías de la cámara no salgan distorsionadas.
- Cámara: Es la encargada de recabar la información del proyecto y consiste en la obtención de fotografías aéreas de la zona de estudio, es de entender para que dicha información sea optima se debe tener una buena resolución de la cámara con buenos sensores que puedan obtener información optima.

2.2.5. Tipos de RPA

Unas de las principales clasificaciones de los RPA se basan en la forma en que se registra los datos, dependiendo de la manera de vuelo que puede realizar, tenemos, (Orellana, 2021):

- Ala Fija: Tiene la misma estructura que un avión comercial es decir que sus alas están fijas a la estructura interna, la gran ventaja de estos tipos de drones es su gran autonomía del tiempo de vuelo ya que su tiempo en el cielo es mayor y su desventaja radica en el despegue y aterrizaje porque en la mayoría de las veces no tienen una plataforma diseñada en el aterrizaje.
- Multirotor: son aquellos en donde su estructura se compone de dos o más rotores en donde sus nombres se clasifican por la cantidad de rotores como los de cuatro rotores se les dice cuadricóptero o los de seis que son los hexacóptero. La ventaja de estos RPA es la capacidad de maniobrar ya que por la constitución de varios rotores puede dirigirse a los lados de manera vertical y quedarse fijo en un punto y la desventaja de estos RPA es la poca autonomía en el cielo por el gran consumo de energía de los rotores.
- Mixto: los RPA mixto es la unión de los RPA de ala fija y multirotor porque tienen el comportamiento de un RPA multirotor cuando despega o aterriza y el comportamiento de un ala fija cuando planea en la obtención de datos del terreno.

2.2.6. Legislación para levantamiento RPAS y adquisición de predios

2.2.6.1. Ley 28294 o Ley del Catastro

Promulgada el 6 de Julio del 2004, establece el marco legal para la gestión catastral en el país. Se delinean las obligaciones necesarias para llevar a cabo un catastro de todos los bienes inmuebles ubicados en el territorio nacional, así como las responsabilidades inherentes a la gestión catastral. (Congreso de la República del Perú, 2004)

2.2.6.2. Directiva 01-2008-SNCP/CNC de Tolerancia Catastral Registral

Es una directiva emitida en el año 2008, por la superintendencia Nacional de los Registros Públicos (SUNARP). Esta directiva se fundamenta en las medidas de las áreas de predios, tanto urbanos como rurales. Se autoriza el uso de diversos métodos de medición para la obtención de los catastros, siempre respetando los límites establecidos en la normativa. Esta directiva busca garantizar la coherencia y precisión de la información catastral registrada. (Superintendencia Nacional de los Registros Públicos, 2008)

2.2.6.3. Texto Único Ordenado del Decreto Legislativo 1192

Mediante el Decreto Supremo 015-2020-Vivienda con fecha 26 de octubre del 2020, se aprueba el Texto Único Ordenado del Decreto Legislativo 1192, Decreto Legislativo que aprueba la Ley marco de adquisición y expropiación de inmuebles, transferencia de inmuebles de propiedad del Estado, liberación de Interferencias y dicta otras medidas para la ejecución de obras de infraestructura. (Mivivienda, 2020)

El Decreto Legislativo 1192 establece los procedimientos para la adquisición y expropiación de predios, definiendo los plazos específicos para cada etapa del proceso de adquisición. (Mivivienda, 2020)

2.2.6.4. Norma técnica geodésica – Instituto Geográfico Nacional (IGN)

Mediante el Decreto Supremo 005-DE/SG y el Decreto Supremo 034-2008-PCM, se otorga al Instituto Geográfico Nacional (2015) la facultad de normar las actividades geográficas – cartográficas que se ejecutan en el ámbito nacional. La

norma Técnica Geodésica tiene como objetivo definir las propiedades y características para un levantamiento geodésico en todas las etapas establecidas.

2.2.6.5. Ley 27261 - Ley de Aeronáutica Civil del Perú

La ley de aeronáutica civil fue promulgada el 9 de mayo del 2000, establece una división para el estudio y regulación de la aeronáutica civil para el Estado peruano, abarcando un total de 20 títulos. (MTC, 2019)

2.2.6.6. Ley 30740 - Ley que Regula el Uso y las Operaciones de los Sistemas de Aeronaves Pilotadas a Distancia (RPAS)

Regula las operaciones de un Sistema de Aeronave Pilotada a Distancia (RPAS), otorgando responsabilidades civiles tanto a los operarios de RPAS como a las entidades excluidas de la ley. (Congreso de la Republica del Perú, 2018)

2.2.6.7. NTC 001-2015

La Norma Técnica Complementaria NTC 001-2015, aprobada mediante la Resolución Directoral 501-2015-MTC/12 con fecha 03 de noviembre del 2015, tiene como objetivo establecer los requisitos para la operación de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS) y las limitaciones para los operarios de RPAS en el ámbito civil, para garantizar la seguridad operacional del personal encargado del RPAS así como de las personas y bienes dentro del área de vuelo de un RPAS.

Capítulo III: Levantamiento fotogramétrico con RPAS

3.1. Ubicación y ámbito del proyecto

3.1.1. Ubicación política

- Vía : Ruta Nacional PE-1NR
- Distrito : Chulucanas
- Provincia : Morropón
- Región : Piura

3.1.2. Ubicación geográfica

El área de investigación se encuentra en la ciudad de Chulucanas con la siguiente ubicación:

Figura N° 1: Mapa del Perú.

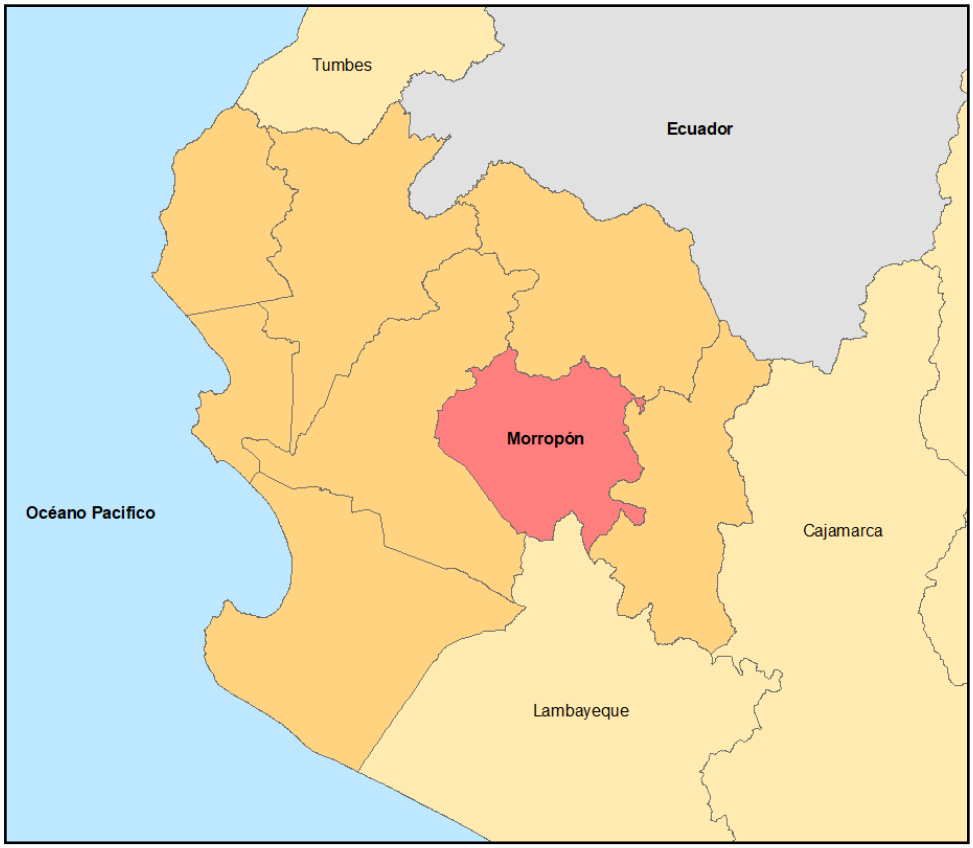


Figura N° 2: Mapa de la Región Piura.

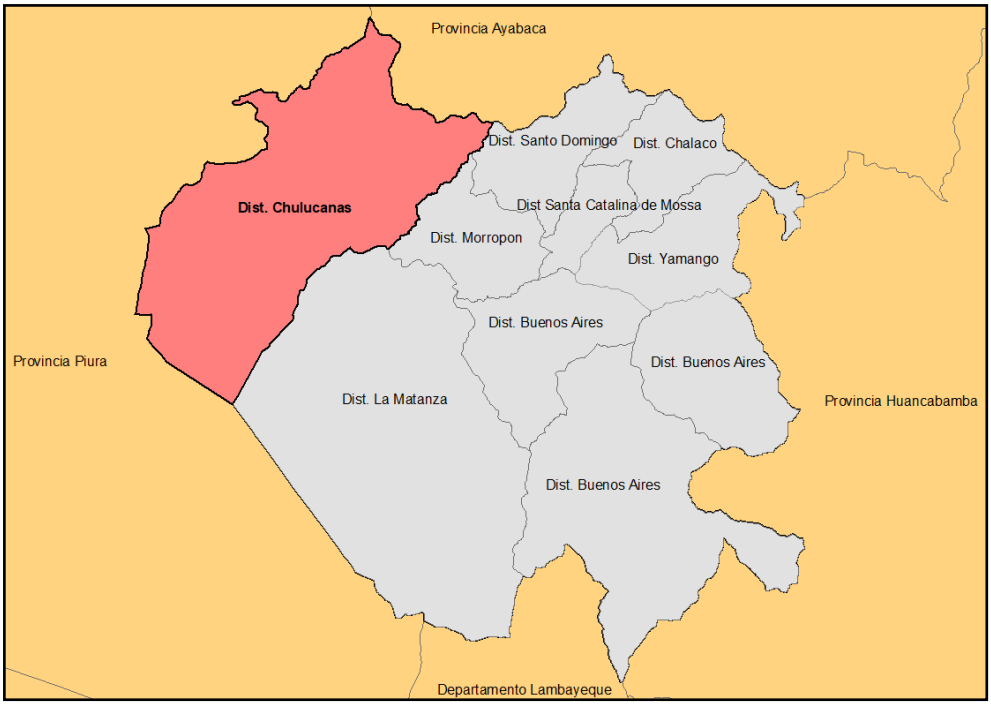


Figura N° 3: Mapa de la Provincia de Morropón.

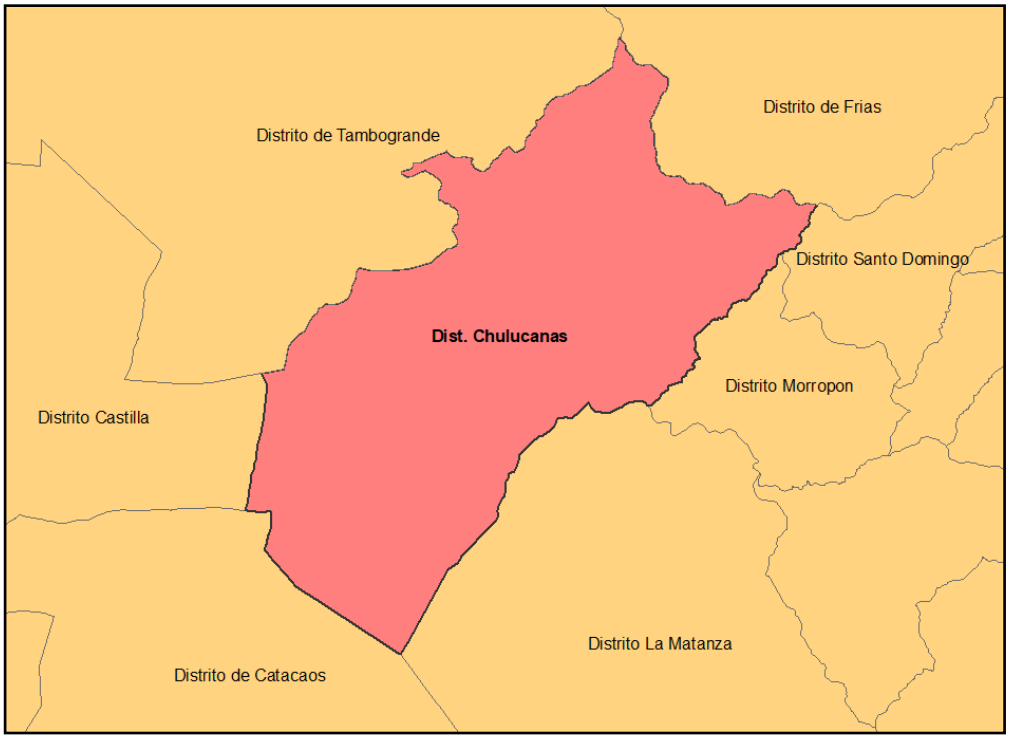


Figura N° 4: Mapa del Distrito de Chulucanas.

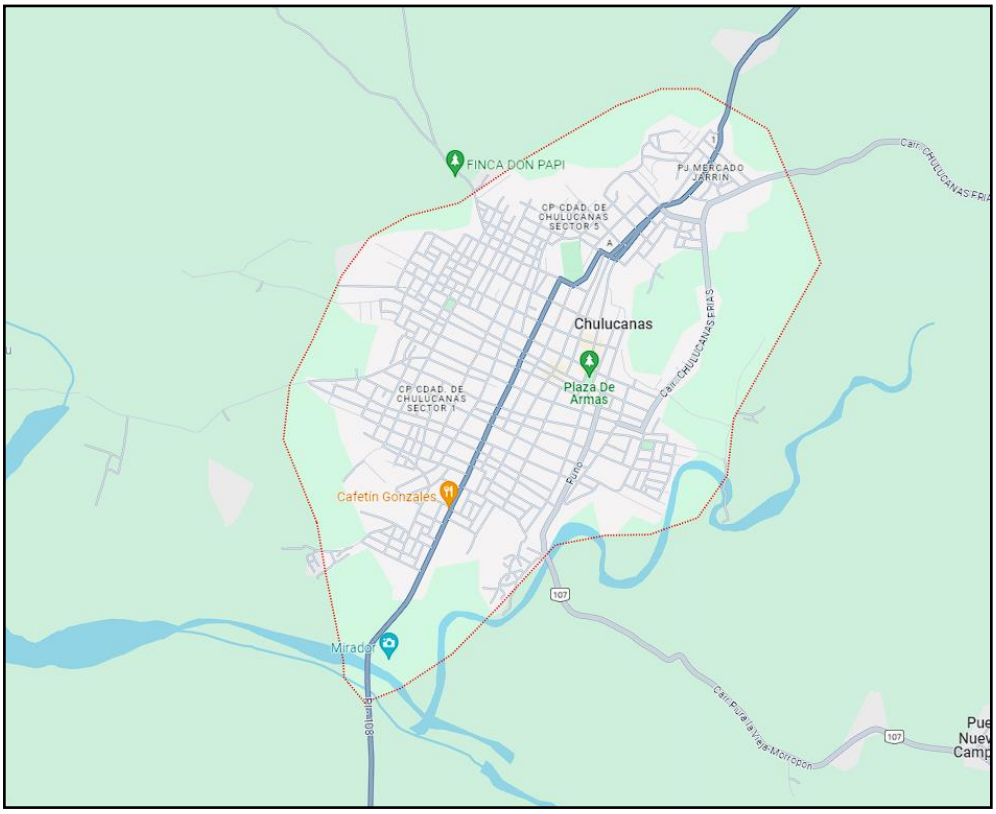


Figura N° *5*: Mapa de la Ciudad de Chulucanas.
Fuente: Google Maps (s.f.)

3.1.3. Localización

El distrito de Chulucanas se encuentra al Noroeste de la Región de Piura, limita al norte con la provincia de Ayabaca, al Oeste con la provincia de Piura, al Este con los distritos de La Matanza, Morropón y Santo Domingo de la Provincia de Morropón y por el sur con la provincia de Piura

3.1.4. Clima

En el distrito de Chulucanas el clima es cálido y seco durante todo el año, con una temperatura promedio anual de 26°C y poca variación entre las estaciones. La época de lluvias es de diciembre a abril, con mayor humedad y precipitaciones promedio de 110 milímetros.

3.2. Metodología de investigación

3.2.1. Enfoque de investigación

El enfoque de la presente investigación es de naturaleza cuantitativa, ya que nos brinda la oportunidad de examinar la realidad mediante parámetros medibles y replicables, para que estos parámetros puedan ser reproducidos en algún futuro cercano siguiendo las mismas condiciones, también debemos tener presente que el enfoque cuantitativo evalúa datos numéricos. (Hernández, Fernández & Baptista, 2014).

En la presente investigación se hizo un análisis comparativo de los datos de coordenadas de los centros geométricos (Este y Norte) y áreas de cada predio afectado por el derecho de vía, utilizando el levantamiento topográfico GNSS-RTK y el levantamiento fotogramétrico RPAS.

3.2.2. Nivel de la Investigación

El nivel de la investigación es de enfoque aplicativo, ya que se centra en encontrar los mecanismos que permitan alcanzar un objetivo en concreto. (Hernández, Fernández & Baptista, 2014)

3.3. Diseño de la investigación

El diseño de la investigación según su estudio es de carácter Cuasi – Experimental, ya que no se puede tener control absoluto de las situaciones (Hernández, Fernández & Baptista, 2014).

La investigación es de tipo Transversal, ya que en algún tiempo determinado se recogen todos los datos obtenidos y se analizan las incidencias entre las variables.

3.4. Población y muestra

3.4.1. Población

Una investigación no será mejor por tener una población más grande; la calidad de una investigación se perfecciona con la cantidad necesaria de población para desarrollar dar respuesta a los problemas planteados. (Sampieri, Collado & Baptista, 2014)

La población de la presente investigación se encuentra en la Ciudad de Chulucanas, para la construcción del Puente Yapatera que se encuentra ubicado en el ingreso Sureste de la ciudad de Chulucanas, en el kilómetro 36+660 de la carretera nacional PE – 1NR; abarcando un área de trabajo aproximado de 18.10 ha, tal como se puede apreciar en la Figura 6:

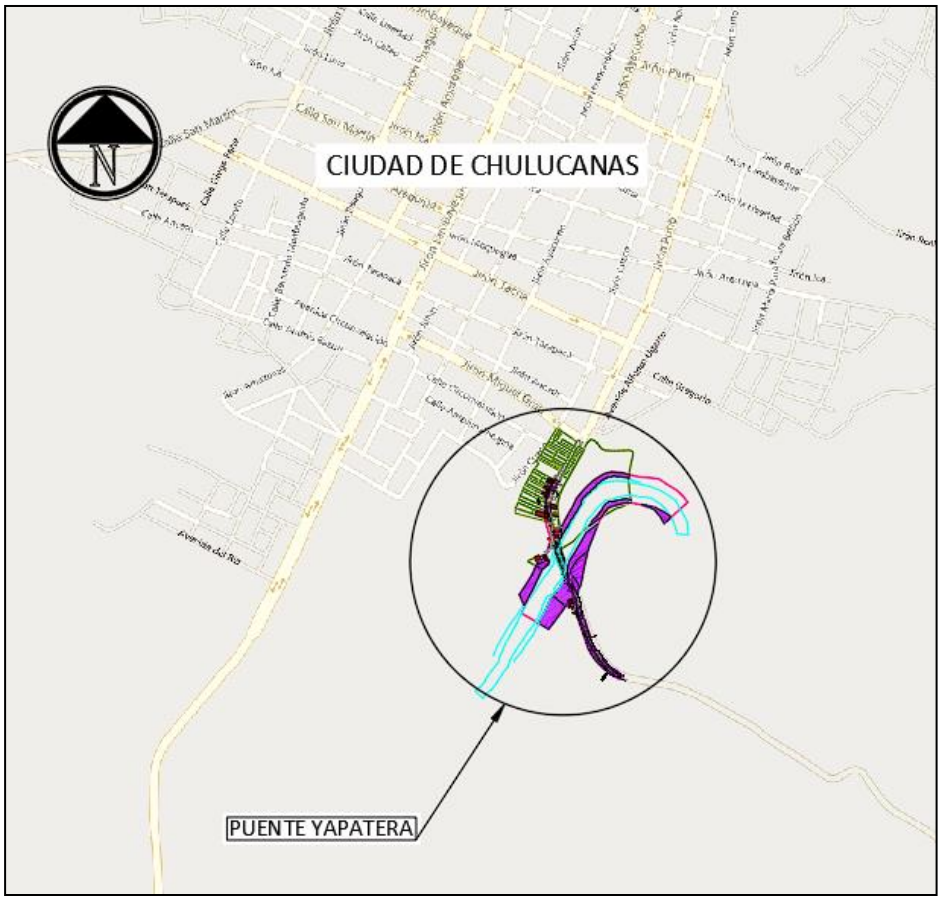


Figura N° 6: Ubicación del Puente Yapatera.

3.4.2. Muestra

La muestra es un subgrupo de la población en el que se van a recolectar datos y debe ser representativa para la población. Para poder obtener la muestra primero debemos definir la unidad de nuestro análisis y así poder someterla a la investigación. (Hernández, Fernández & Baptista, 2014)

El tamaño de la muestra se encuentra limitada por los 32 predios que están dentro del derecho de vía, dicha franja del derecho de vía tiene un ancho de 20 metros (10 metros desde el eje de la vía), el cual fue aprobado con Resolución Ministerial 315 – 2006 MTC/02 y por el límite constructivo del proyecto en la construcción del Puente Yapatera.

3.5. Variables de investigación

Tabla N° 2:

Operacionalización de la variable

Variable	Descripción de la variable	Nivel	Indicador	Unidad de medida	Instrumento
VARIABLE INDEPENDIENTE					
Levantamiento fotogramétrico	Se obtiene la representación detallada del terreno mediante el levantamiento fotogramétrico con RPAS	Tiempo de vuelo RPAS	Tiempo de vuelo	minutos	RPAS
		Altura de vuelo RPAS	Altura de vuelo	m	
		Calidad de la cámara del RPAS	Cámara del RPA	MPx	
		Área en común de fotografías consecutivas	Traslape	%	
		Detalle de píxeles	GSD	cm/px	
		Programa de procesamiento digital	Agisoft Metashape Professional 2.0.1	versión	laptop
VARIABLE DEPENDIENTE					
Tolerancia catastral	Medidas máximas tolerables para las áreas de los predios	Aceptación por SNCP	Metros cuadrados	%	Análisis matemático
Análisis estadístico	Proporciona la base objetiva para la confiabilidad y validez de resultados	Normalidad de la prueba	significancia	p > 0.05	Prueba Wilconxon Prueba t-student
Precisión	Es la desviación de las coordenadas de los levantamientos	Precisión total del levantamiento	Error de medición	Centímetros	Hoja de calculo
Tiempo	Se beneficia un proyecto con el menor tiempo	Tiempo total de levantamiento	Tiempo de Levantamiento	Días	Análisis matemático
Costo	Se beneficia un proyecto con el menor costo	Costo total de levantamiento	Costo de Levantamiento	Soles	Análisis matemático

3.6. Instrumentos

3.6.1. Reconocimiento del terreno y plan de vuelo

En esta fase, se emplearán los siguientes instrumentos y materiales:

- Materiales de gabinete
    - 01 computadora de escritorio
- Software
    - Google Earth
    - UAV Forescast
    - DroneDePloy
    - AutoCAD Civil 3D 2023
    - Microsoft Excel 2019
    - Software Leica Infinity

3.6.2. Actividades de campo

- Material de Campo
    - Pintura
    - Madera tornillo
    - Brocha
    - Mezcla de concreto
    - Acero corrugado de ½”
    - Placa de Bronce
- Equipo de campo
    - GPS Diferencial CHCNAV I90
    - RPAS Phantom 4 Pro
    - Tablet
    - Binoculares

3.6.3. Procesamiento de imágenes RPAS

Es la última etapa del levantamiento con RPAS consiste en la obtención de nube de puntos y ortofotos. Durante esta fase, se utilizan los siguientes instrumentos y materiales:

- Materiales de Gabinete
    - 01 computadora de escritorio
- Software
    - Agisoft Metashape Professional versión 2.0.1
    - Recap Pro 2023
    - Autocad Civil 3D 2023
    - Microsoft Excel 20219
    - Sotfware SPSS Statistics 27

3.7. Etapas del flujo de trabajo

El proyecto de investigación está dividido en 3 etapas:

3.7.1. Reconocimiento del terreno y planificación de vuelo

La primera actividad que se realiza es el reconocimiento de la orografía de la zona destinada para el vuelo del equipo RPAS. Con este propósito, se empleó el software Google Earth para visualizar las características y sinuosidad del terreno.

Tras conocer las pendientes del terreno, se procedió a realizar la planificación de vuelo, teniendo en cuenta condiciones cruciales, tales como la velocidad del viento, altura de vuelo, porcentaje de traslape, condiciones climatológicas, zonas GEO, zonas con influencia electromagnética, resolución a obtener, tiempo de vuelo y cantidad de fotografías. Para evaluar las condiciones climatológicas, electromagnéticas y zonas GEO, se recurrió a la página oficial del UAV Forecast. Asimismo, para las consideraciones de altura de vuelo, GSD, Traslape, tiempo de vuelo y cantidad de fotografías, se utilizó la página oficial de DroneDeploy. Luego se procederá a la ubicación de los Puntos de Apoyo Fotogramétrico (PAF), donde se consideró las áreas de traslape y también la diferencia de cotas máximas y mínimas.

3.7.2. Actividades de campo

En esta fase, se lleva a cabo el procedimiento de campo, el cual se inicia con la colocación de los Puntos de Apoyo Fotogramétrico (PAF). Para obtener las coordenadas de cada punto se apoyó fotogramétrico se usó instrumentos de precisión, y posteriormente se efectúe el vuelo fotogramétrico con el equipo RPAS. En el vuelo con el equipo RPAS, se realizará un Pre-Chequeo para asegurar el cumplimiento de todas las condiciones que se estipulan en el NTC 001-2015.

3.7.3. Procesamiento de Imágenes

Tras la obtención de las fotografías, el primer procedimiento que se realizará será la obtención del Modelo Digital de Elevación (MDE) y el Modelo Digital de Terreno (MDT) utilizando el software Agisoft Metashape profesional. En este proceso, se utilizaron las fotografías capturadas por el equipo RPAS en el campo y las coordenadas de los Puntos de Apoyo Fotogramétrico (PAF) con la finalidad de aumentar la precisión del levantamiento fotogramétrico.

Finalmente, se obtuvo la Nube de puntos y la Ortofoto, los cuales son esenciales para calcular los límites de los predios dentro del derecho de vía.

3.8. Levantamiento fotogramétrico con equipo RPAS

La investigación sigue las normas técnicas peruanas actuales para lograr los resultados esperados, como es el caso de la monumentación de puntos geodésicos que lo rige la Norma Técnica Geodésico (Instituto Geográfico Nacional, 2020), y para el vuelo de Aeronaves Tripuladas a Distancia se ha considerado la Norma Técnica Complementaria NTC 001-2015 (Dirección General de Aeronáutica Civil, 2015).

En la presente investigación se ha establecido 3 etapas para el proceso del levantamiento fotogramétrico con RPAS, las cuales son: reconocimiento del terreno y plan de vuelo, actividades de campo y procesamiento de imágenes. Las cuales se detallan a continuación:

3.8.1. Reconocimiento del terreno y plan de vuelo

3.8.1.1. Reconocimiento del área de vuelo

En este proceso, se utilizó el software Google Earth para poder obtener los datos del área aproximada, resultando en una extensión de 18.10 Hectáreas, como se muestra en la figura 7. Posteriormente, se obtuvo el archivo en formato kml, el cual es crucial para la Planificación del vuelo.

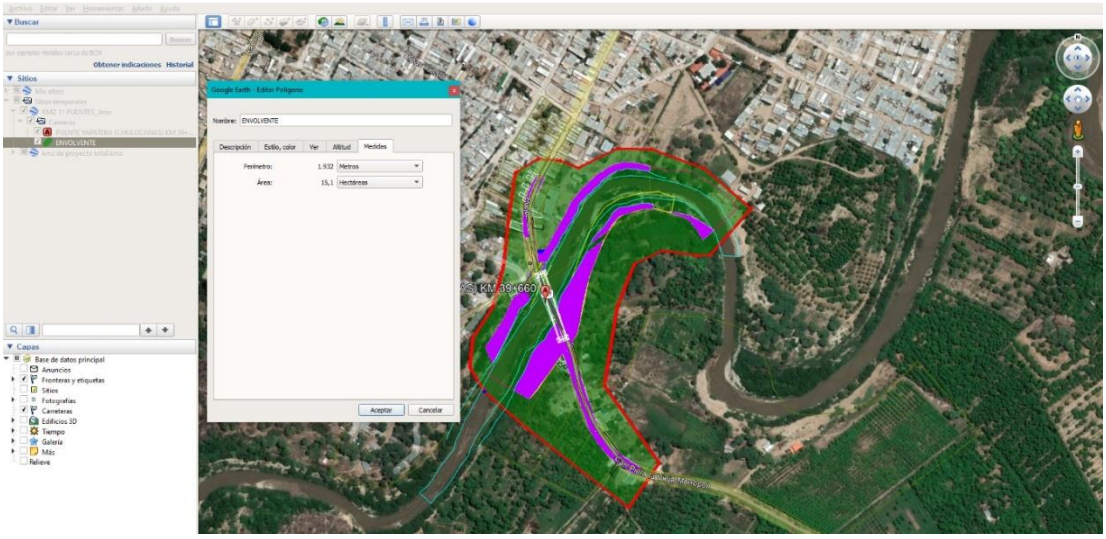


Figura N° 7: Área de vuelo estimada usando software Google Earth.
Fuente: Google Earth (s.f.)

3.8.1.2. Comprobación climatológica para el plan de vuelo

Las condiciones para determinar la fecha del plan de vuelo fueron:

- Pronóstico meteorológico de la fecha en la que se llevara a cabo el plan de vuelo, en el cual las variables del equipo RPAS (Phantom 4 Pro) fueron ingresadas al software UAV Forescast y asi obtener las condiciones meteorológicas de los días próximos al vuelo.
- Evitar las zonas de alto riesgo electromagnético como estaciones eléctricas y estaciones de radiotransmisión.

A continuación, se determinó que la mejor fecha sería el sábado 21 de febrero entre las 10:00 a.m. y las 5:00 p.m., según como se muestra en la Figura 8.

Figura N° 8: Condiciones climatológicas usando el software UAV Forecart.

3.8.1.3. Plan de vuelo

En el proceso de planificación de vuelo, se tendrá en cuenta varios aspectos:

- **GSD (Ground Sample Distance):** Es una representación de las dimensiones del píxel de la fotografía en el terreno sobrevolado. Por ejemplo, si nuestro GSD es de 2.5 cm/px, significa que la representación cada píxel mide 2.5 cm en el terreno. En esta analogía, se comprende que el GSD depende de la resolución de la cámara, así como de la altura a la cual se sobrevolara el RPAS. En nuestras condiciones, se considerará un GSD de 2.5 cm/px.
- **Altura de vuelo:** Es la dimensión perpendicular medido desde la aeronave hasta un punto del terreno sobrevolado. La altura del vuelo es directamente proporcional al valor del GSD e inversamente proporcional al valor de la resolución espacial.

- **Traslape:** Es el valor porcentual entre áreas comunes de imágenes, se determina según la morfología del terreno que se estudiara. En el caso del trabajo de investigación, se sabe que la cota máxima es de 90.50 metros y la mínima de 81.50 metros en un área de 18.10 hectáreas, concluyendo que es un terreno Llano. Por lo tanto, se ha determinado un valor de traslape longitudinal de 70% y transversal de 70%.
- **Especificaciones Técnicas de la Aeronave Phantom 4 Pro:** en las Tablas 3, 4 y 5 se indican las especificaciones del RPAS:

Tabla N° 3:

Especificaciones técnicas de operación de la aeronave

Característica de vuelo	Rango Aceptable
Velocidad máxima	45 mph (sin viento)
Altura máxima de operación	6000 m.s.n.m
Resistencia máxima al viento	10 m/s
Tiempo máximo de vuelo	30 minutos
Temperatura de funcionamiento	Entre 0°C a 40°C
Tipo de Batería	LiPo 4S

Fuente: Da Jiang Innovations (s.f.)

Tabla N° 4:

Características de la estructura del RPAS

Estructura del RPA	Dimensiones
Tipo de RPA	Multimotor de 4 hélices
Peso con batería	1388 gramos
Rastreo de Satélites	GPS y GLONASS
Rango sensorial de obstáculos	0,6 - 23 pies (0,2 - 7 m)

Fuente: Da Jiang Innovations (s.f.)

Tabla N° 5:

Especificaciones de la cámara del RPAS

Característica física	Unidad
Sensor	1” CMOS/Pixel efectivo: 20 M
Lente	FOV 84° 8,8 mm/24 mm (equivalente al formato de 35 mm) f/2,8 - f/11)
Rango ISO	Vídeo: 100 - 3200 (Auto) 100 - 6400 (Manual) Foto: 100 - 3200 (Auto) 100 - 12800 (Manual)
Velocidad de obturación mecánica	8-1/2000 s
Velocidad de obturación electrónica	8-1/8000 s
Tamaño de Imagen	Relación 16:9: 5472 × 3078
Sistemas de archivos compatibles	FAT32 (≤32 GB); exFAT (>32 GB)
Formato de fotografía	JPEG, DNG (RAW), JPEG + DNG

Característica física	Unidad
Tarjetas SD compatibles	Tamaño máx. de MicroSD: 128 GB Velocidad de escritura ≥15 MB/s, se requiere clasificación Clase 10 o UHS-1

Fuente: Da Jiang Innovations (s.f.)

Luego se procede a realizar el plan de vuelo utilizando el software DronedePloy.

Primero, se procedió a la importación del archivo Kml del software Google Earth a la plataforma digital Dronedeploy, como se muestra en la figura 9:

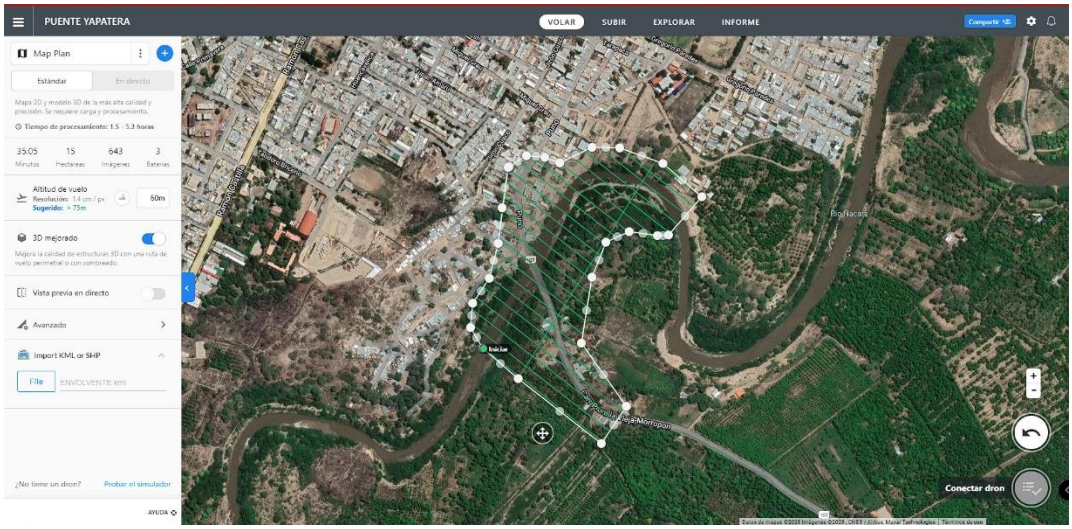


Figura N° 9: Importación del archivo kml a la plataforma digital DronedePloy.

Luego, se procedió a ingresar las características de vuelo, tales como:

- Traslape longitudinal y transversal: 70%
- Dirección de vuelo perpendicular al viento: 120° (dirección del viento SE)
- Velocidad de vuelo: 5m/s
- Ángulo de inclinación: 90 grados (Nadir)
- Modelo de RPAS: Phantom 4 Pro
- Altura de vuelo: 60 metros (GSD=1.4 cm/px)

Como se muestra en la figura 10 y figura 11:

Figura N° 10: Ingreso de las características de vuelo.

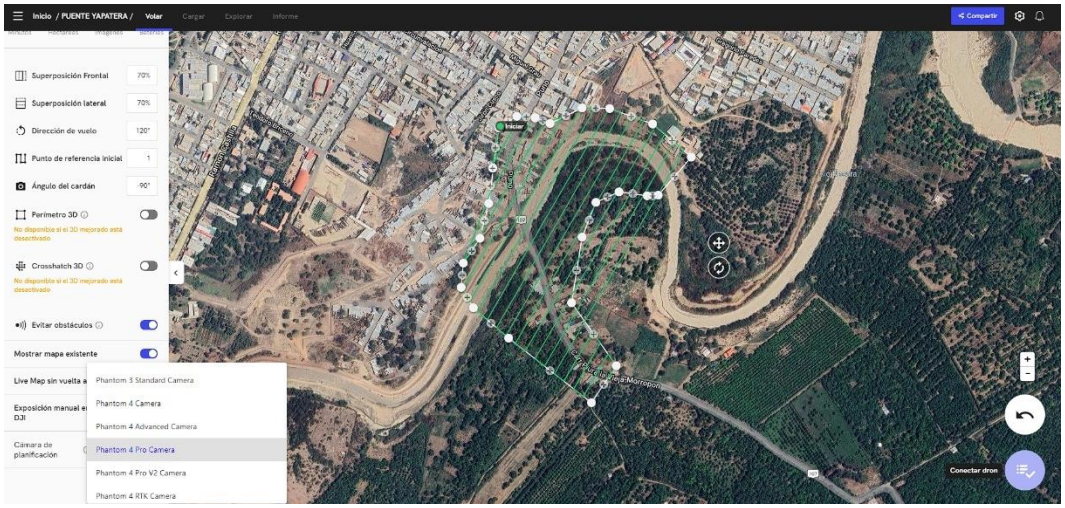


Figura N° 11: Ingreso del tipo de RPAS a sobrevolar.

En la Figura 10 muestra el tiempo de vuelo de aproximadamente 30 minutos y una cantidad aproximada de 568 imágenes, por lo que se utilizarán 2 baterías y se determinara mediante dos planes de vuelo.

El tiempo de vuelo máximo del equipo RPAS es de 25 minutos, por lo que se necesitó un plan de vuelo adicional. Posteriormente, se comenzó a reestructurar las áreas de vuelo para cada plan, obteniendo un área de 7.23 ha para el primer plan de vuelo y 9.26 ha para el segundo plan de vuelo, con un área en común de 1.61 ha. Esta área compartida contribuirá a mejorar la precisión del levantamiento fotogramétrico RPAS. En la figura 12 se mostraron las áreas de vuelo de los planes de vuelo 1 y 2 usando el software Google Earth, mientras que en la figura

13 se muestra la importación del área de vuelo 1 al DronedePloy. Asimismo, en la figura 14 se presenta la importación del área de vuelo 2.

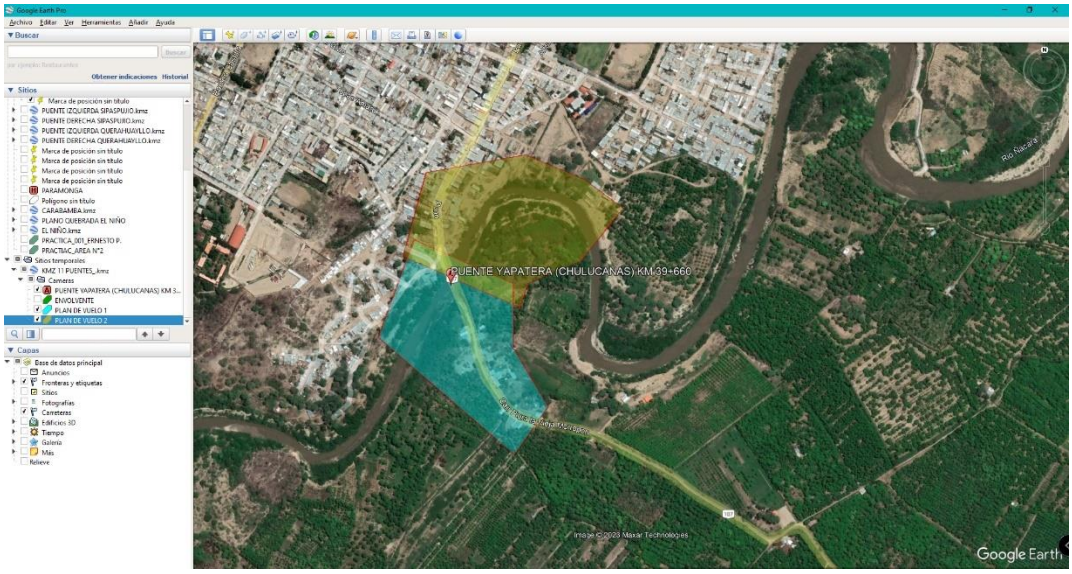


Figura N° 12: Áreas de vuelo 1 y 2 en el software Google Earth.

Figura N° 13: Importación del área de vuelo 1.

Figura N° 14: Importación del área de vuelo 2.

3.8.1.4. Ubicación preliminar de punto geodésico y puntos de apoyo fotogramétrico

- Puntos Geodésico (PG)

En la ubicación de los puntos geodésicos se debe tener presente que deben estar enlazado a la Red Geodésica Geocéntrica Nacional. (IGN, 2015)

Se consideró que los puntos geodésicos sean de orden “C”, por lo que su equivalente medido debe de ser un punto de orden superior, como una Estación de Rastreo Permanente (ERP) de orden 0, A y B. (IGN, 2015)

Para iniciar las actividades de campo, es importante tener en cuenta que se ha considerado a la empresa estatal PROVIAS NACIONAL como interesado, ya que compartimos el mismo objetivo de la monumentación de un punto geodésico. Antes de iniciar las labores de campo, se solicitó al Instituto Geográfico Nacional (IGN) los códigos para los puntos geodésicos de orden “C”. Estos códigos serán considerados en la elaboración de las placas de bronce, siguiendo las medidas establecidas en el Instituto Geográfico Nacional, con el propósito de su posterior monumentación en la zona de trabajo según lo exigido por PROVIAS NACIONAL.

Como resultado, se obtuvo el siguiente código PIU04369, que se localizó en la zona más elevada del área de interés, para así garantizar una mayor recepción de la señal satelital. La localización previa se realizó a cabo con la ayuda del software Google Earth, obteniendo una altura preliminar de 94 metros tal como se muestra en la Figura 15.

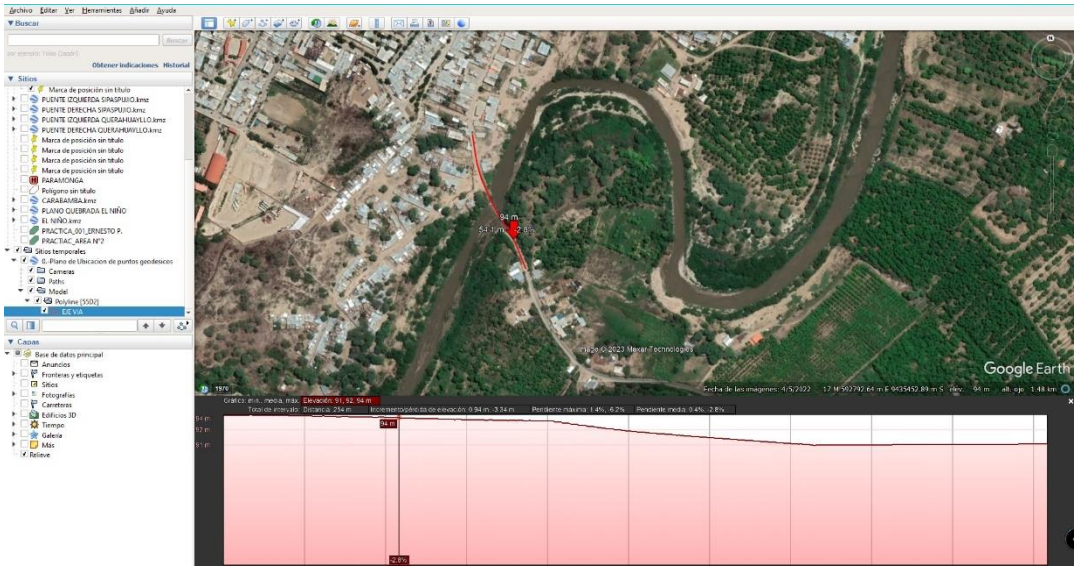


Figura N° 15: Ubicación preliminar del punto geodésico.

- Puntos de Apoyo Fotogramétrico (PAF)

Para determinar la ubicación de los puntos de apoyo fotogramétrico, se realizará con una vista preliminar desde una perspectiva satelital del terreno, considerando:

- Sitios fáciles de identificar desde una vista área.
- Distribución equidistante entre puntos.
- Considerar las Zonas con mayor y menor elevación.
- Colocación de puntos de apoyo fotogramétrico en áreas en común de dos planos de vuelos continuos.
- Planimetría del terreno para que sea identificado en la ortofoto.
- Inspección visual de puntos para garantizar su ubicación.

Para poder determinar la cantidad de puntos de apoyo fotogramétrico, se estableció una relación directa entre el terreno y la georreferenciación de los puntos de apoyo fotogramétrico; los cuales son determinadas según sus variables de ubicación: Este, Norte y Cota. (Chuvieco, 1990)

El número mínimo de puntos de apoyo fotogramétrico dependerá de los grados de liberta, los cuales están relacionados con la morfología del terreno, así como otros factores determinantes en el levantamiento fotogramétrico. (Chuvieco, 1990)

Se colocará la siguiente analogía:

- Si N = 1, mínimo de 3 PAF’s
- Si N = 2, mínimo de 6 PAF’s

- Si N= 3, mínimo de 10 PAF's

En este contexto, N representa los grados de libertad del levantamiento fotogramétrico, los cuales están determinado por la geomorfología, diferencia cotas, cantidad de planes de vuelo y otras variables consideradas en nuestro levantamiento fotogramétrico.

En cualquiera de los casos, se recomienda tomar más puntos de apoyo fotogramétrico. En este estudio, se determinó utilizar una cantidad de 7 puntos de apoyo fotogramétrico, dado que se llevarán a cabo dos planes de vuelos continuos y tendrán un área de interés.

Para la ubicación preliminar, se utilizó el software AutoCAD Civil 3D 2023, donde se observan las elevaciones con una máxima cota de 90.50 metros y cota mínima de 81.50. Posteriormente, se distribuyeron los puntos de apoyo fotogramétrico a una distancia aproximada de 250 metros como se muestra en la siguiente en la figura 16:

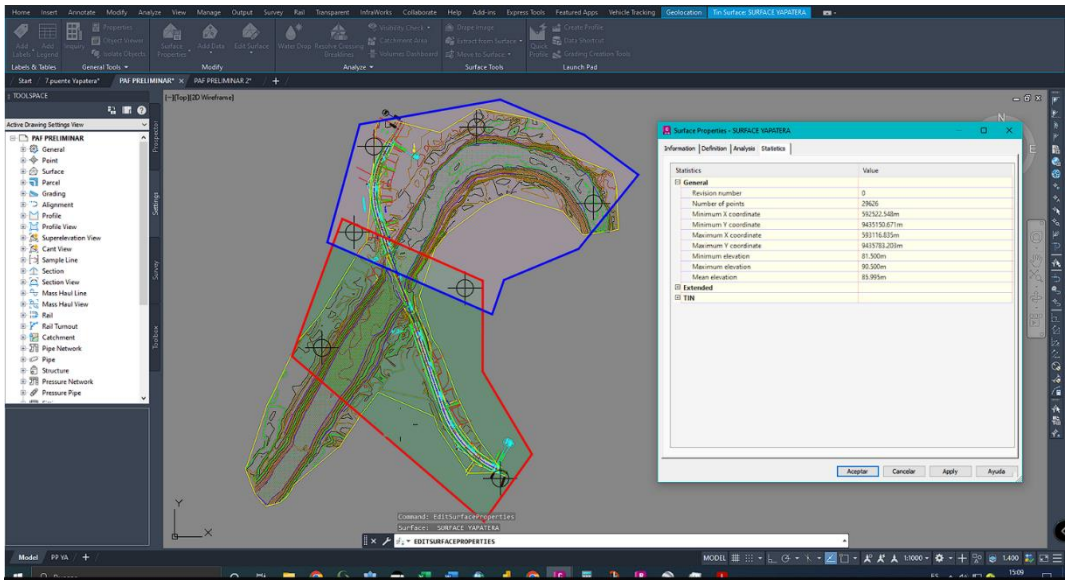


Figura N° 16: Ubicación preliminar de los puntos PAF, Zona 17.

Se Obtuvo preliminarmente las coordenadas de los puntos de apoyo fotogramétrico, como se muestra en la Tabla 6:

Tabla N° 6:

Coordenadas preliminares de los puntos PAF, zona 17S

PUNTO	ESTE (metros)	NORTE (metros)
PAF 1	592928.72	9435194.20
PAF 2	592769.68	9435279.84
PAF 3	592644.63	9435402.11
PAF 4	592872.40	9435497.03
PAF 5	592695.76	9435586.06
PAF 6	592727.27	9435722.46
PAF 7	593077.12	9435632.07

3.8.2. Actividades de campo

3.8.2.1. Monumentación y georreferenciación de punto geodésico

Se colocó una placa de bronce con un dado de concreto, el cual se ubicó en la superficie más elevada de la zona de estudio para obtener una mayor recepción en la señal satelital. Las características de la placa de bronce siguen lo establecido por la IGN.

La monumentación del punto geodésico se llevará a cabo mediante la instalación de un pilar de concreto, conforme a las especificaciones de la norma técnica geodésica del IGN, el cual menciona lo siguiente:

- Tendrá que ser de forma cuadrangular con 40 cm de lado.
- La profundidad no será menor de 60 cm respecto al terreno.
- De ser necesario, se deberá colocar dos fieros corrugados de ½”.

En la figura 17, se muestra la excavación del punto geodésico de orden C.

Figura N° 17: Monumentación del punto geodésico PIU 04369.

Figura N° 18: Placa de bronce del punto geodésico PIU 04369.

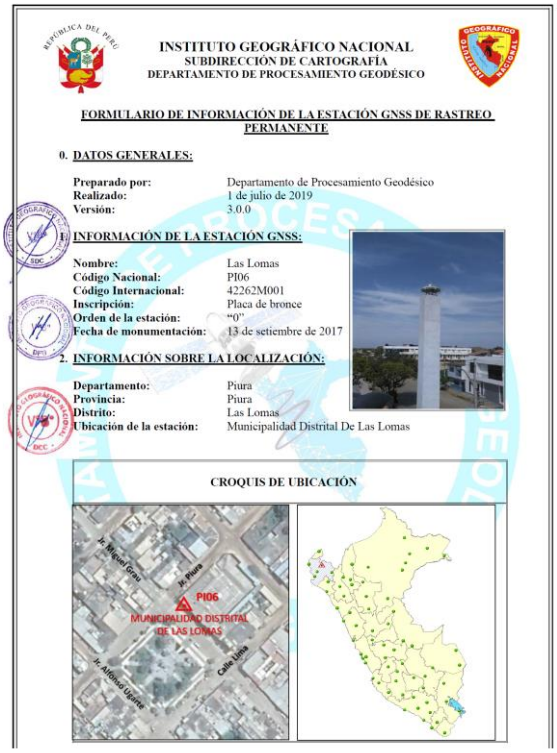
Figura N° 19: Colocación de la placa de bronce en el punto geodésico.

Después de la monumentación del punto geodésico con código PIU04369, se procedió a realizar la georreferenciación con el punto de Orden “0”.

El orden del punto geodésico es de tipo “C” y esta codificado según la norma IGN como **PIU04369**. Se consideró lo establecido en la Norma Técnica Geodésica, que estipula que un punto geodésico no puedo ser georreferenciado desde un punto de menor o igual orden. En este sentido, se utilizó el punto de orden “0” con el nombre Las Lomas y código **PI06.** Dicho punto se encuentra ubicado en el departamento de Piura, provincia Piura, distrito Las Lomas, dentro del centro Municipal del Distrito de Las Lomas, con coordenadas UTM Este 583958.9098 Norte 9485160.5913, zona 17 Sur.

Para enlazar a la Red Geodésica Horizontal del IGN, se tomó como referencia la Estación de Rastreo Permanente (ERP) denominada Las Lomas – PI06. Se adquirió la data de los días de trabajo de geodesia en los que se rastreó (lectura) el punto geodésico y se obtuvo la ficha técnica de la ERP, que es la más cercana al área de influencia del proyecto. En la figura 20 se muestra la estación del GPS diferencial, que esta lecturando el punto PIU04369, y en la figura 21 se presenta la data de la ERP PI06.

Figura N° 20: Lectura del punto geodésico PIU04369.



INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL
SUBDIRECCIÓN DE CARTOGRAFÍA
DEPARTAMENTO DE PROCESAMIENTO GEODÉSICO

FORMULARIO DE INFORMACIÓN DE LA ESTACIÓN GNSS DE RASTREO PERMANENTE

0. DATOS GENERALES:

Preparado por:	Departamento de Procesamiento Geodésico
Realizado:	1 de julio de 2019
Versión:	3.0.0

1. INFORMACIÓN DE LA ESTACIÓN GNSS:

Nombre:	Las Lomas
Código Nacional:	PI06
Código Internacional:	42262M001
Inscripción:	Placa de bronce
Orden de la estación:	"0"
Fecha de monumentación:	13 de setiembre de 2017

2. INFORMACIÓN SOBRE LA LOCALIZACIÓN:

Departamento:	Piura
Provincia:	Piura
Distrito:	Las Lomas
Ubicación de la estación:	Municipalidad Distrital De Las Lomas

CROQUIS DE UBICACIÓN

Figura N° 21: Ficha ERP PI06.

La lectura del Punto Geodésico abarco desde las 10:40 a.m. hasta las 04:00 p.m. del sábado 21 de febrero del 2023. Las coordenadas de los puntos geodésicos son obtenidas utilizando el software de post procesamiento "LEICA INFINITY V 3.2", tal como se observa en la tabla 7:

Tabla N° 7:

Coordenadas del punto geodésico PIU04369, zona 17S

CÓDIGO DE PUNTO	ESTE (m)	NORTE (m)	ALTURA (m)
PIU04369	592,750.623	9,435,568.768	91.216

3.8.2.2. Marcación y medición de puntos de apoyo fotogramétricos (PAF)

En el marcado de puntos de control, se siguieron las coordenadas preliminares obtenidas mediante AutoCad Civil 3D y posteriormente en campo se evaluó si las coordenadas preliminares se mantenían o se elegía una nueva posición estratégica siguiendo la restricción de una separación máxima de 250 metros. El marcado de los puntos se realizó en forma de cruz con pintura esmalte de color blanco, de una longitud de 1.0 m x 1.0 m, como se muestra en la figura 22.

Posteriormente, se obtuvieron las nuevas coordenadas de estos puntos de apoyo fotogramétrico mediante el método de medición estático rápido. Estos puntos están enlazado al punto geodésico **PIU04369** (orden C)**.** Los puntos de apoyo fotogramétrico (PAF) serán lecturados con intervalo de 5 minutos y a una distancia máxima de 3 km con respecto al punto geodésico PI04639**.**

Figura N° 22: Lecturado del Punto de Apoyo fotogramétrico (PAF).

Después de la lectura de los 7 Puntos de Apoyo Fotogramétrico, se procedió al post procesamiento y corrección, tal como se muestran en la Tabla 8:

Tabla N° 8:

Coordenadas de los puntos de apoyo fotogramétrico, zona 17S

PUNTO	NORTE (metros)	ESTE (metros)	ELEVACIÓN (metros)	DESCRIPCIÓN
1	9435714.804	592761.419	91.290	PAF 01
2	9435571.711	592726.366	91.605	PAF 02
3	9435438.287	592669.665	97.613	PAF 03
4	9435356.730	592747.071	98.834	PAF 04
5	9435460.618	592828.419	97.897	PAF 05
6	9435646.038	592882.673	97.412	PAF 06
7	9435237.402	592878.488	99.697	PAF 07

3.8.2.3. Actividades de vuelo fotogramétrico

En el vuelo con el equipo RPAS, se tuvo en cuenta la lista de verificación de vuelo, tanto PRE -VUELO Y POST-VUELO, ya que estas sirven para documentar de manera ordenada y sistemática el trabajo de campo del equipo de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS). En la labor de vuelo fotogramétrico, se utilizaron dos planes de vuelo programados, cada uno con su punto de despegue y ruta específicos. Una vez completados todos los chequeos necesarios para el vuelo, se procedió a ingresar a la aplicación de DronedePloy desde la Tablet vinculado al control remoto del sistema RPAS. Se confirmaron en la aplicación las características del vuelo, como altura de vuelo, GSD, tiempo de vuelo, traslape, inclinación de la cámara y el tipo de grillado.

Durante el proceso de vuelo, el piloto encargado del plan de vuelo puede monitorear la ruta programada desde la Tablet vinculada al control remoto. La observación física del vuelo del RPAS se lleva a cabo con el asistente del piloto, quien, mediante unos binoculares, observa el RPA. En caso de detectar algún peligro aviar o algún obstáculo no previsto, el asistente del piloto proporcionara indicaciones al piloto principal para que tome las decisiones pertinentes.

Al finalizar el proceso del plan de vuelo 1, se lleva a cabo el chequeo POST-VUELO para determinar si los datos obtenidos son aceptables. Posteriormente, se procede con el plan de vuelo 2, repitiendo las mismas actividades realizadas en el plan de vuelo 1. En la figura 23 muestra el plan de vuelo 1 y en la figura 24 muestra el plan de vuelo 2.

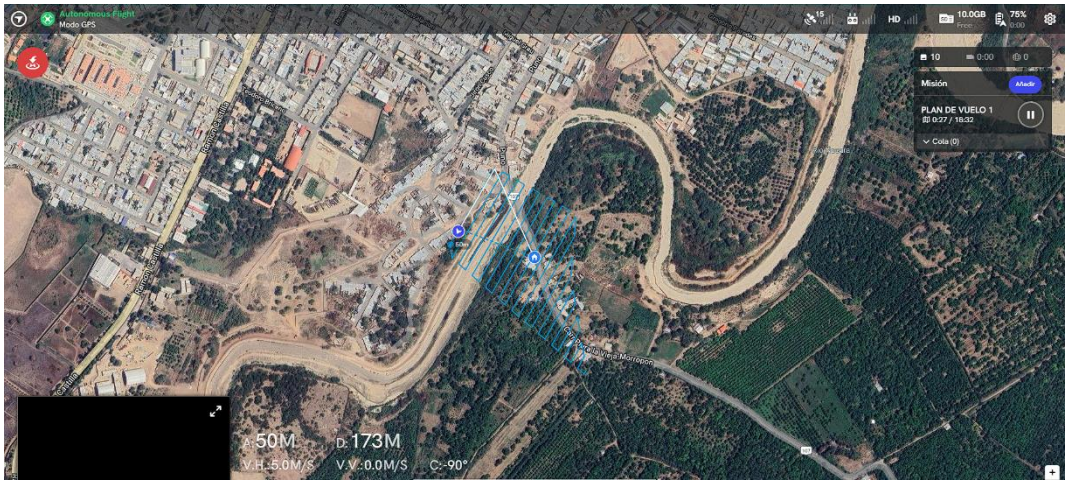


Figura N° 23: Plan de vuelo 1.

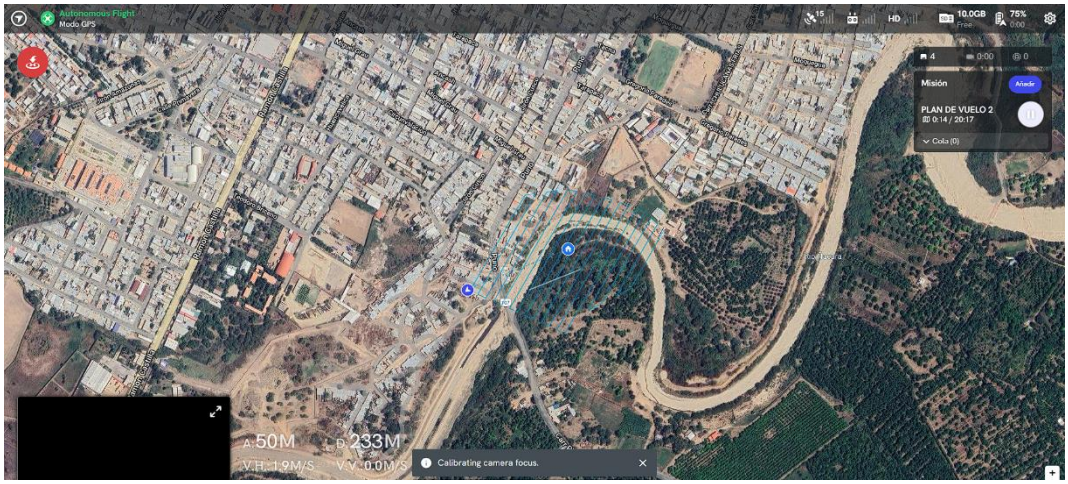


Figura N° 24: Plan de vuelo 2.

Finalmente, el producto obtenido de los planes de vuelo son los formatos nativos, en este caso, las fotografías en formato JPEG. Obteniendo un total de 609 fotografías, como se puede apreciar en la figura 25.

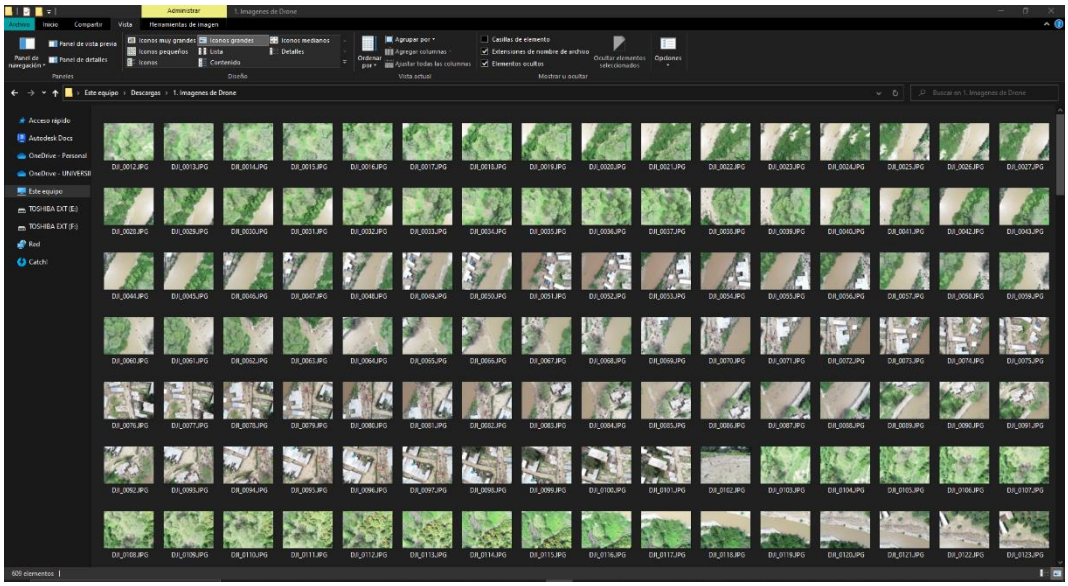


Figura N° 25: Cantidad de fotografías nativo en JPEG.

3.8.3. Procesamiento de Imágenes

El procesamiento de imágenes se inicia con la importación de todas las fotografías digitales del vuelo (vuelo 1 y 2) realizado con el equipo RPAS en formato nativo (JPEG), que luego son introducidas en el software Agisoft Metashape profesional, el cual cuenta con algoritmos especializados para corregir errores de

aerotringulación. El producto esperado en este proceso incluye una Ortofoto en formato GeoTIFF y una Nube de puntos Densa en formato LAS.

Las fotografías digitales fueron descargadas y almacenadas en una computadora de escritorio. Posteriormente, se procedió a impórtalas al software Agisoft Metashape profesional, como se muestra en la figura 26 (609 fotografías).

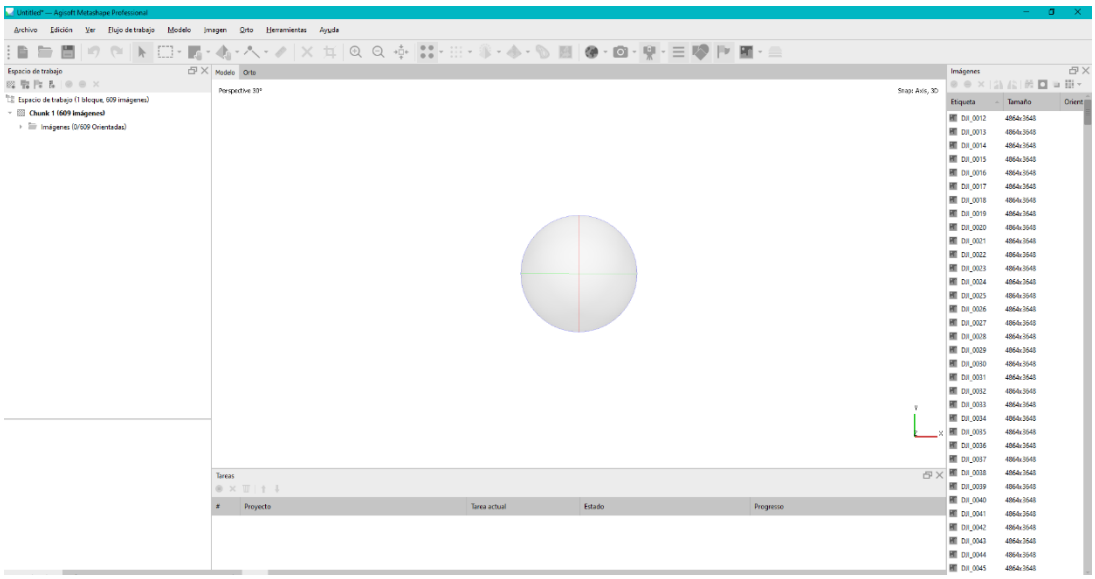


Figura N° 26: Importación de fotografías al software Agisoft Metashape.

Una vez que se importan las fotografías, por defecto no tienen una orientación determinada. Por lo tanto, es necesario realizar la orientación de estas y, por ende, determinar su correcta ubicación respecto a las demás, este procedimiento se puede visualizar en la figura 27.

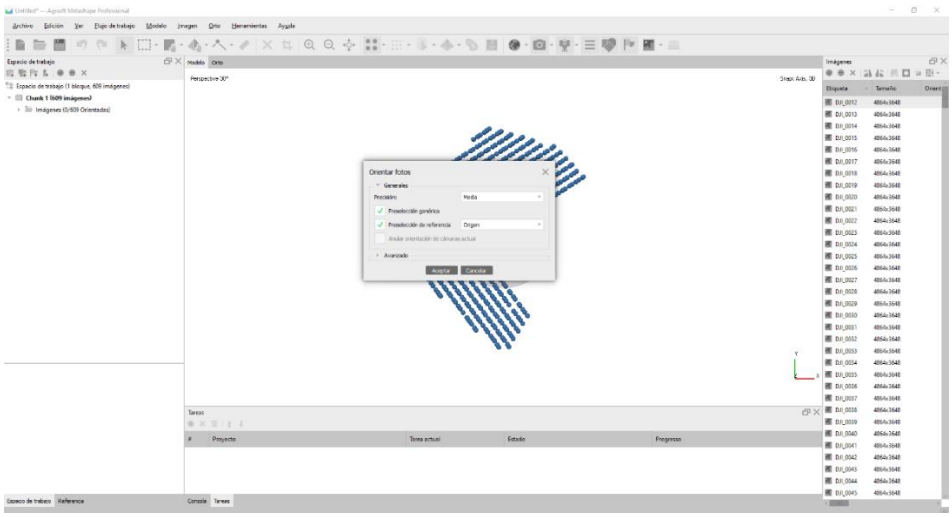


Figura N° 27: Orientación de fotografías con Agisoft Metashape.

A continuación, los puntos de apoyo fotogramétrico (PAF), se ingresaron al software Agisoft Metashape mediante un archivo en formato Excel con extensión CSV, como se muestra en la figura 28, para corregir errores planares y errores de elevación.

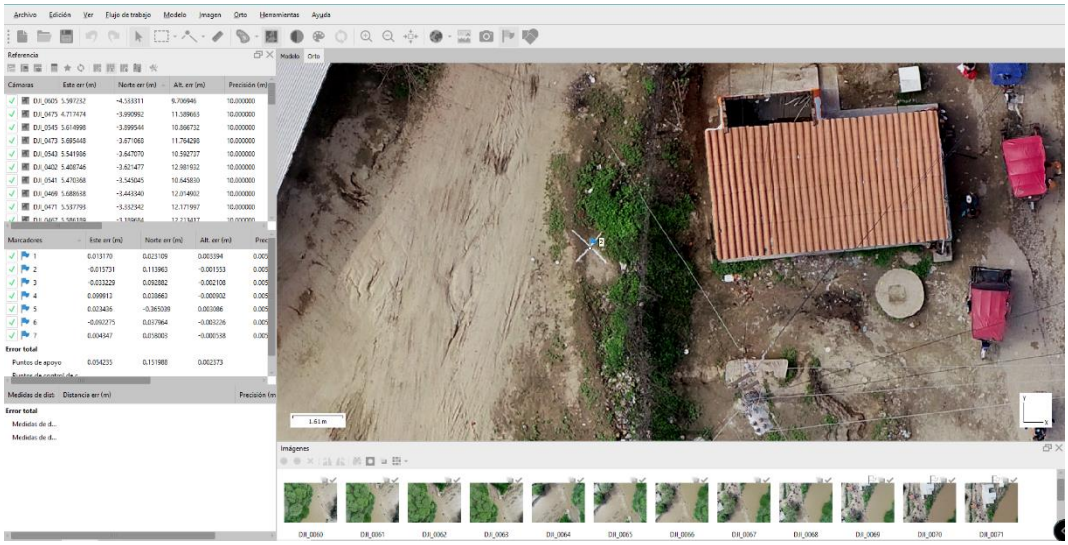


Figura N° 28: Importación de los puntos PAF al Agisoft Metashape.

Posteriormente, se hace una recalibración de posicionamiento de todos los puntos de apoyo fotogramétrico, como se muestra en la figura 29.

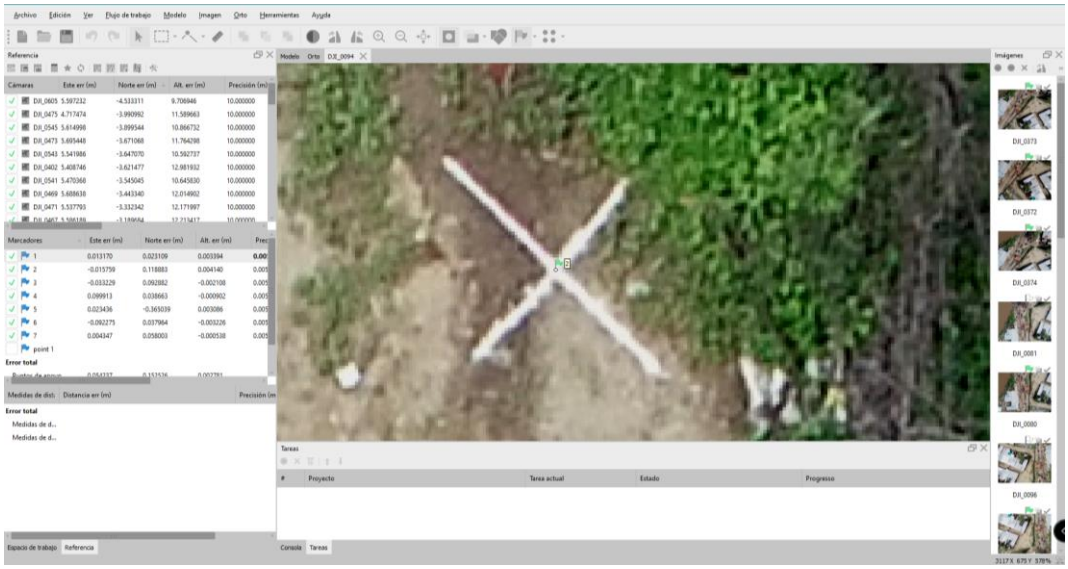


Figura N° 29: Calibración de posicionamiento de los PAF en el Agisoft.

Con la corrección del posicionamiento de las fotografías se prosigue con la creación de la nube de puntos densa en el software Agisoft Metashape professional, como se muestra en la figura 30.

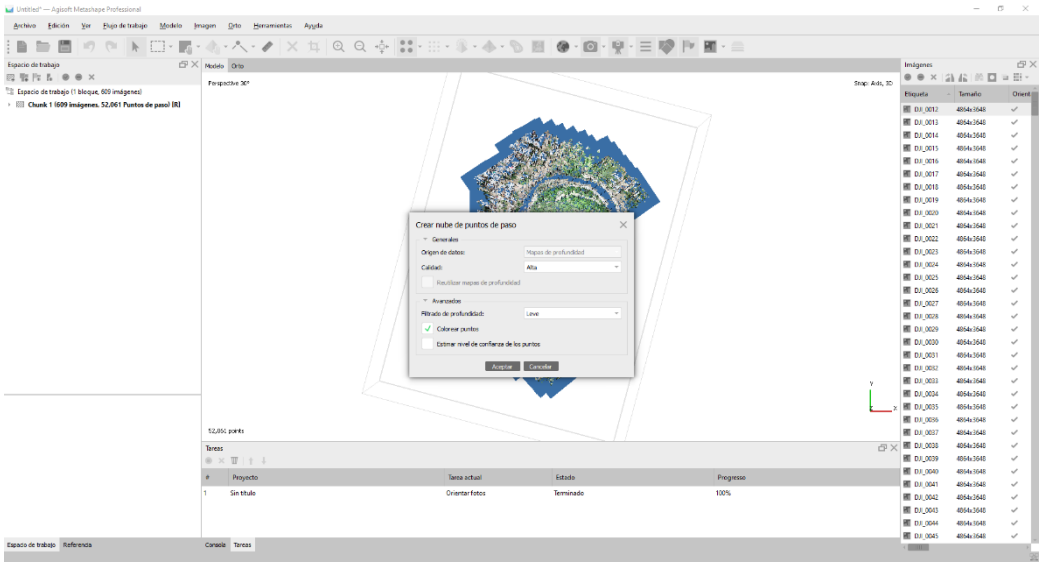


Figura N° 30: Creación de nube de puntos densa con Agisoft.

En el proceso de clasificación de puntos, se asignan características a un grupo particular de puntos, como terreno, vegetación alta, edificio, vehículo, entre otros. En este procedimiento, se busca separar los puntos correspondientes al terreno de los demás, como se ilustra en la figura 31.

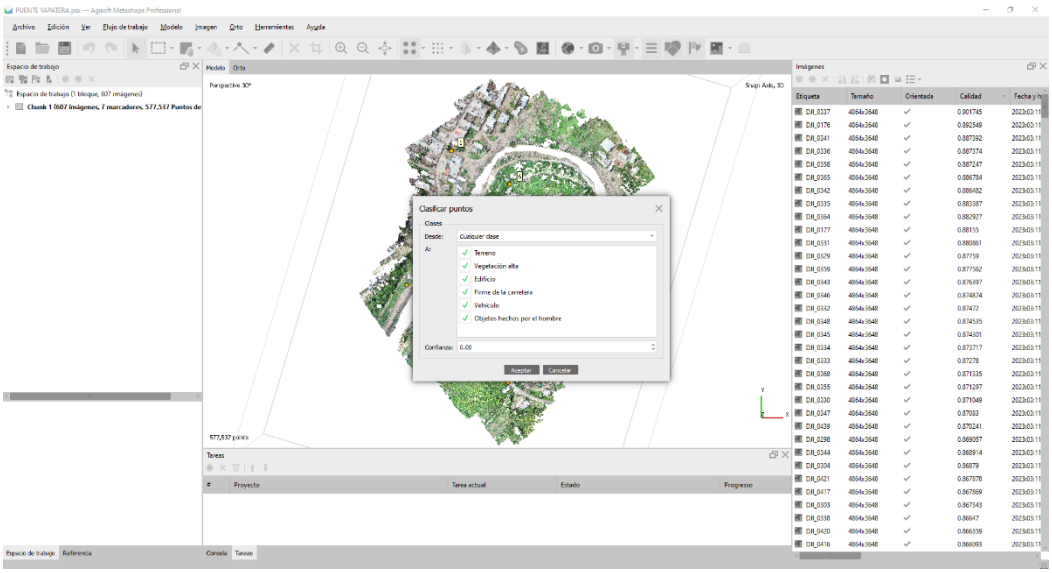


Figura N° 31: Clasificación de nube de puntos con Agisoft.

Se continua con la generación del modelo digital de Terreno (MDT). Este modelo es una representación visual y matemática de los valores de altura, considerando únicamente el grupo de nube de puntos del terreno excluyendo las construcciones o árboles presentes sobre el terreno. Este proceso permite caracterizar las formas del relieve del terreno, la creación del MDT se puede visualizar en la figura 32.

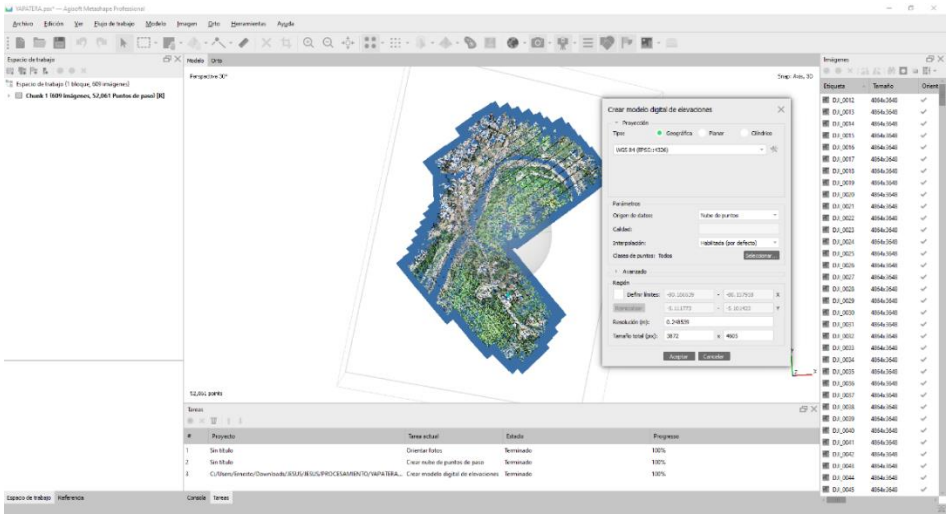


Figura N° 32: Creación de Modelo Digital de Terreno. (MDT)

Finalmente, como producto se obtiene la ortofoto, que es la representación corregida de las fotografías capturadas por el equipo RPAS. En este caso la ortofoto abarca un área de 18.10 ha. Este proceso se lleva a cabo utilizando el software Agisoft Metashape, mediante el cual se genera la ortofoto en formato GeoTiFF, como se muestra en la figura 33.

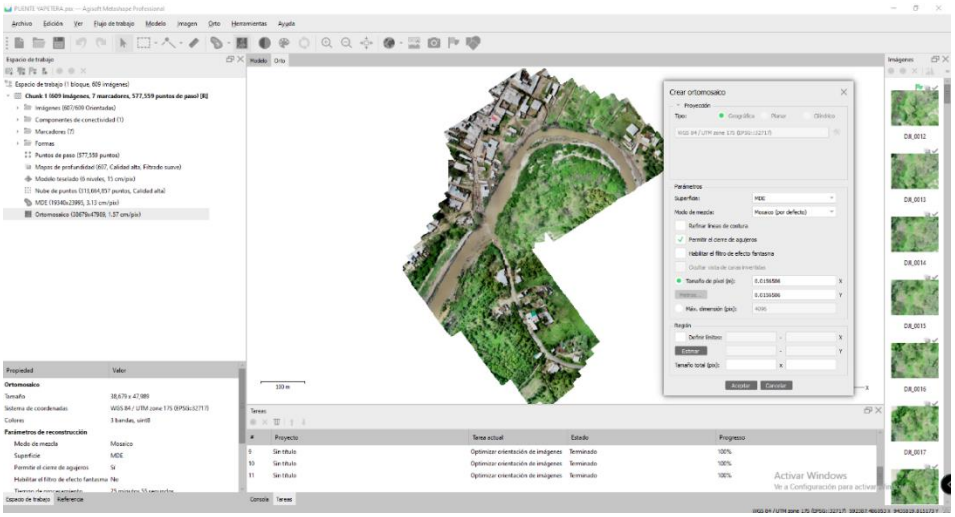


Figura N° 33: Creación de la ortofoto mediante Agisoft.

3.9. Obtención de limites prediales de 32 predios

En la ortofoto, se puede apreciar claramente los límites de cada predio que solo comprendan áreas de terreno, es decir, sin estructura. En estos casos, los límites de los predios son fáciles de reconocer debido a la clara separación visual que es evidente en la ortofoto. Sin embargo, cuando existen estructuras salientes, como son voladizos o calaminas, estos límites pueden resultar difíciles de identificar, y puede ser necesario recurrir a otras herramientas para determinarlos.

Para determinar los límites de los predios que incluyen estructuras, es necesario importar la nube de puntos densa al software Recap Pro-2023. Este proceso permite eliminar los voladizos de estas estructuras, y determinar los límites de los predios afectados. Los pasos de este procedimiento se encuentran ilustrados en las figuras 34, 35, 36 y 37.

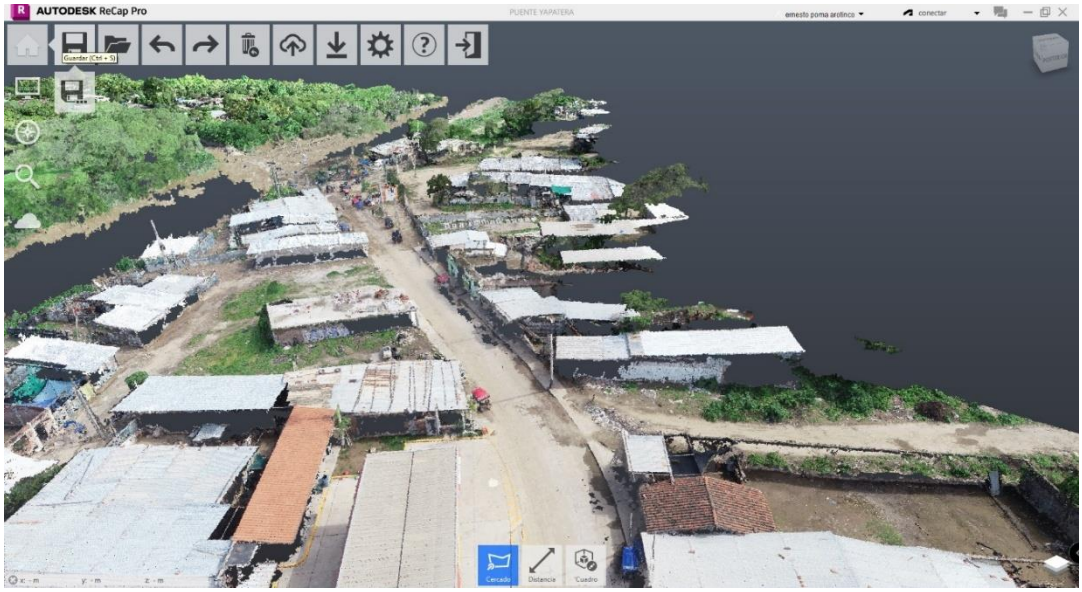


Figura N° 34: Importación de la nube de puntos en el Recap Pro 2023.

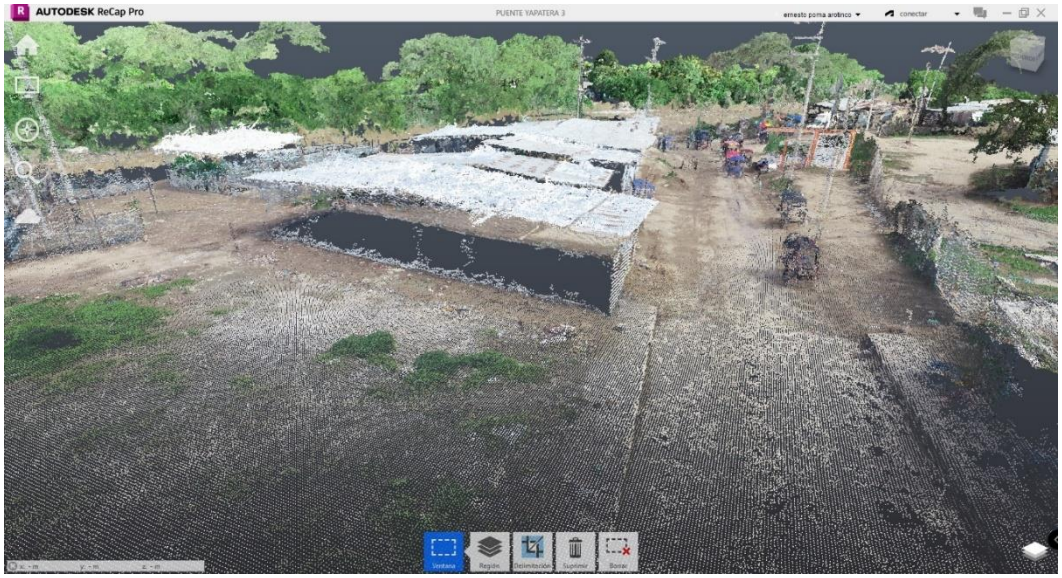


Figura N° 35: Reconocimiento de predio con voladizo en el Recap Pro.

Figura N° 36: Separación y eliminación de voladizo en el Recap Pro.

Figura N° 37: Resultado de eliminar el voladizo del predio analizado.

Finalmente se obtuvieron los polígonos de cada predio en donde lo vamos a representar por sus centros geométricos, así como por sus áreas, estas características lo podemos visualizar en la Tabla 9 y en la Figura 38.

Tabla N° 9:

Datos obtenidos de los predios con RPAS, zona 17 sur.

	Lote	Centroide		Área Obtenida (m^2)
		Este (metros)	Norte (metros)	
1	13	592776.711	9435741.617	145.48
2	14	592771.934	9435732.939	215.41
3	15	592766.325	9435722.514	211.15
4	16	592759.370	9435708.420	344.20
5	17	592731.909	9435733.169	252.23
6	18	592724.777	9435727.172	269.46
7	19	592732.817	9435718.702	112.03
8	20	592724.036	9435716.726	176.46
9	21	592721.842	9435711.392	197.99
10	22	592720.493	9435703.001	293.44
11	23	592715.535	9435696.594	195.45
12	24	592712.160	9435689.239	351.14
13	25	592749.581	9435681.796	664.14
14	26	592712.894	9435665.615	138.82
15	27	592744.941	9435660.020	148.46
16	28	592712.157	9435658.033	289.68
17	29	592746.430	9435649.335	210.51
18	30	592709.501	9435650.433	263.85
19	31	592747.796	9435639.221	142.02
20	32	592712.006	9435639.464	434.60
21	33	592709.895	9435627.101	540.40
22	34	592715.448	9435609.607	494.09
23	35	592751.955	9435610.247	99.94
24	36	592754.312	9435601.042	66.79
25	37	592757.011	9435595.355	110.56
26	38	592757.033	9435588.237	115.66
27	39	592757.244	9435580.882	109.15
28	40	592755.295	9435574.471	44.41
29	41	592774.360	9435618.185	78.33
30	42	592778.001	9435622.075	84.46
31	43	592779.705	9435626.924	95.63
32	44	592836.504	9435721.339	109.51

Figura N° 38: Límites de los 32 predios afectados.

Capítulo IV: Análisis estadístico para validación de datos obtenidos

Antes de la selección del tipo de análisis estadístico inferencial a utilizar para comparación de medias entre variables cuantitativas, es necesario cumplir con una condición básica: la normalidad de los datos. Los datos obtenidos deben presentar una distribución normal, y esto se puede verificar mediante una prueba de normalidad.

Si el resultado de la prueba de normalidad es significativo ($p < 0.05$), indica que los datos siguen una distribución normal. En este caso, se empleará una prueba no paramétrica como la prueba de Wilcoxon. Esta prueba, similar a la prueba T *Student,* solo que utiliza la mediana como medida de tendencia central para comparación de las variables en estudio. Por otro lado, si los datos siguen una distribución normal (Prueba de Shapiro-Wilk $p > 0.05$), se utiliza la prueba paramétrica T de *Student* para comparación de medias. Esta prueba se clasifica en diferentes tipos según la naturaleza de la muestra:

- **Dos muestras relacionadas o pareadas. -** mediciones a una misma población en dos tiempos distintos.
- **Dos muestras independientes con varianzas iguales. -** las mediciones se hacen a poblaciones distintas y con varianzas iguales.
- **Dos muestras independientes con varianzas diferentes. -** las mediciones se hacen a poblaciones distintas con varianza diferentes.

Para este estudio, se consideró que la prueba es de tipo relacionadas o pareadas, lo que significa que las muestras deben estar relacionadas y compartir una conexión entre ellas. Siguiendo esas consideraciones, se plantearon los siguientes pasos para llevar a cabo la prueba estadística, ya sea paramétrica o no paramétrica:

- **Paso 1:** Redactar la hipótesis
- **Paso 2:** Definir la variable de confiabilidad
- **Paso 3:** Calcular la distribución normal
- **Paso 4:** Aplicar la prueba t de Student o de Wilcoxon

A continuación, se detallará los resultados siguiendo los pasos antes mencionados:

4.1. Análisis en la coordenada Este

Paso 1: Hipótesis general

H_0= No existe diferencia significativa en las coordenadas de los centroides entre el levantamiento fotogramétrico con RPA y el levantamiento con GNSS – RTK.

H_1= Existe diferencia significativa en las coordenadas de los centroides entre el levantamiento fotogramétrico con RPA y el levantamiento con GNSS – RTK.

Datos para utilizar en las coordenadas Este (E):

Recopilación de datos de las coordenadas este (E) de los centroides de los predios analizados con el levantamiento GNSS - RTK y el levantamiento fotogramétrico RPAS.

Tabla N° 10:

Diferencias absoluta de la coordenada Este, zona 17S

	Lote	LEVANTAMIENTO GNSS – RTK (metro)	LEVANTAMIENTO RPAS (metro)	∆E (metro)
1	20	592724.196	592724.036	0.16
2	17	592731.763	592731.909	0.15
3	21	592721.949	592721.842	0.11
4	40	592755.213	592755.295	0.08
5	13	592776.647	592776.711	0.06
6	30	592709.444	592709.501	0.06
7	15	592766.271	592766.325	0.05
8	16	592759.320	592759.370	0.05
9	28	592712.205	592712.157	0.05
10	36	592754.353	592754.312	0.04
11	38	592756.993	592757.033	0.04
12	35	592751.917	592751.955	0.04
13	24	592712.121	592712.160	0.04
14	23	592715.498	592715.535	0.04
15	37	592756.976	592757.011	0.03
16	39	592757.276	592757.244	0.03
17	14	592771.902	592771.934	0.03
18	19	592732.794	592732.817	0.02
19	26	592712.878	592712.894	0.02
20	34	592715.463	592715.448	0.02
21	31	592747.810	592747.796	0.01
22	44	592836.494	592836.504	0.01

	Lote	LEVANTAMIENTO GNSS – RTK (metro)	LEVANTAMIENTO RPAS (metro)	ΔE (metro)
23	43	592779.714	592779.705	0.01
24	33	592709.904	592709.895	0.01
25	32	592712.013	592712.006	0.01
26	29	592746.423	592746.430	0.01
27	25	592749.587	592749.581	0.01
28	42	592778.006	592778.001	0.00
29	22	592720.488	592720.493	0.00
30	27	592744.943	592744.941	0.00
31	18	592724.776	592724.777	0.00
32	41	592774.360	592774.360	0.00

En la siguiente figura 39 se presenta el desfase en las coordenadas Este, es decir, la diferencia en el cálculo de las coordenadas Este de los centroides utilizando el levantamiento fotogramétrico con RPA y el levantamiento con GNSS – RTK. El promedio fue de 0.0371, siendo el máximo desfase en el Lote 20 y el máximo desfase en el lote 20 y el mínimo desfase en el Lote 41.

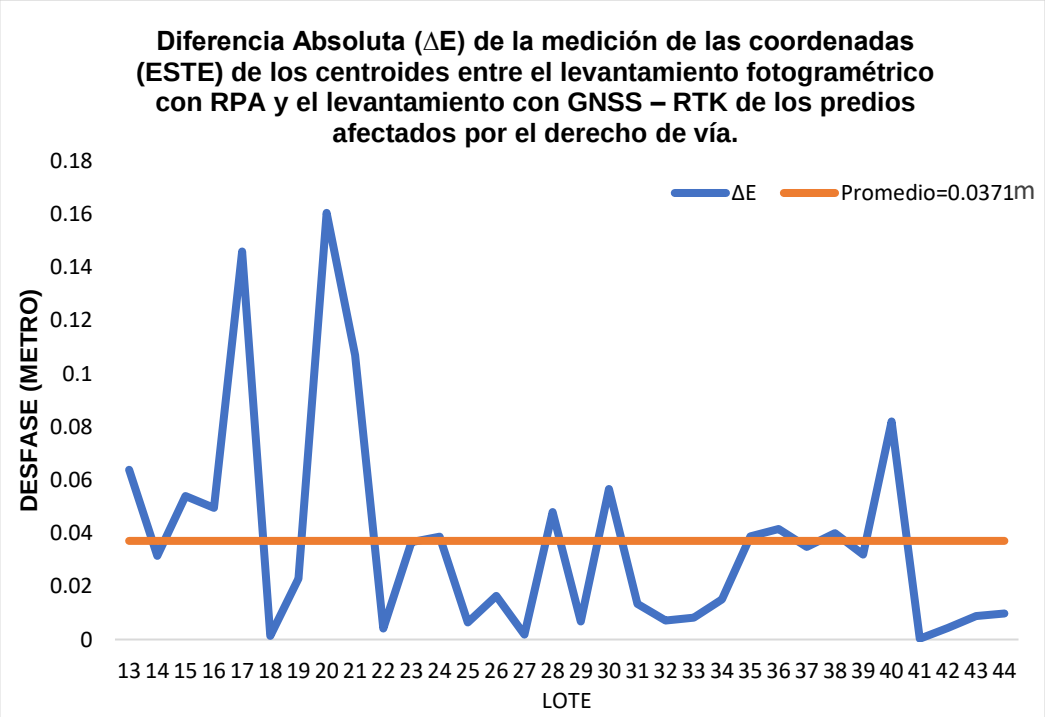


Figura N° 39: Desfase en la coordenada Este

Paso 2: Nivel de confiabilidad

El nivel de significancia es una decisión que generalmente queda a criterio del investigador, dependiendo de la rigurosidad de su investigación, ya que no hay una razón científica que indique el valor del óptimo para el parámetro.

En este estudio, se ha optado por un valor intermedio del nivel de significancia, tomando en cuenta los valores comúnmente utilizados en investigaciones. Por lo tanto:

- Nivel de significancia: 5%
- Nivel de confianza: 95%

Paso 3: Prueba de normalidad: Shapiro – Wilk

Es necesario que las muestras siguen una distribución normal, para seleccionar apropiadamente el análisis inferencial que comparará las variables. Por ello, se empleará la prueba de normalidad Shapiro-Wilk para muestras menores a 50 usando el programa estadístico SPSS. La prueba de normalidad se realizó en ambas muestras relacionadas.

- Prueba de hipótesis
    - HO: datos se aproximan a la distribución normal: P valor ≥ 5%
    - H1: datos no se aproximan a la distribución normal: P valor < 5%

4.1.1. Prueba de normalidad de los datos en la coordenada Este (m)

Tabla N° 11:

Prueba de Normalidad en la coordenada Este

Este (m)	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
GNSS – RTK	0.901	32	**0.007**
RPAS	0.901	32	**0.007**

Resultados de la prueba de normalidad para coordenadas Este (E):

No se encontró normalidad en los datos de las coordenadas levantadas con GNSS – RTK y con RPAS; por tanto, se rechaza la hipótesis nula (H0) y se acepta la hipótesis alternativa (H1), es decir, los datos no se aproximan de una distribución normal.

De esta manera, se utilizó un análisis no paramétrico, prueba de Wilcoxon para comparación de las variables. En los siguientes gráficos se observa el comportamiento de los datos en el análisis de normalidad, donde se puede notar que existen datos que están fuera de la línea central, lo que resulta en una distribución no normal para ambos conjuntos de datos, GNSS - RTK y RPAS.

En la figura 40 y 41 se muestra el grafico de análisis de la Normalidad en la Coordenada Este.

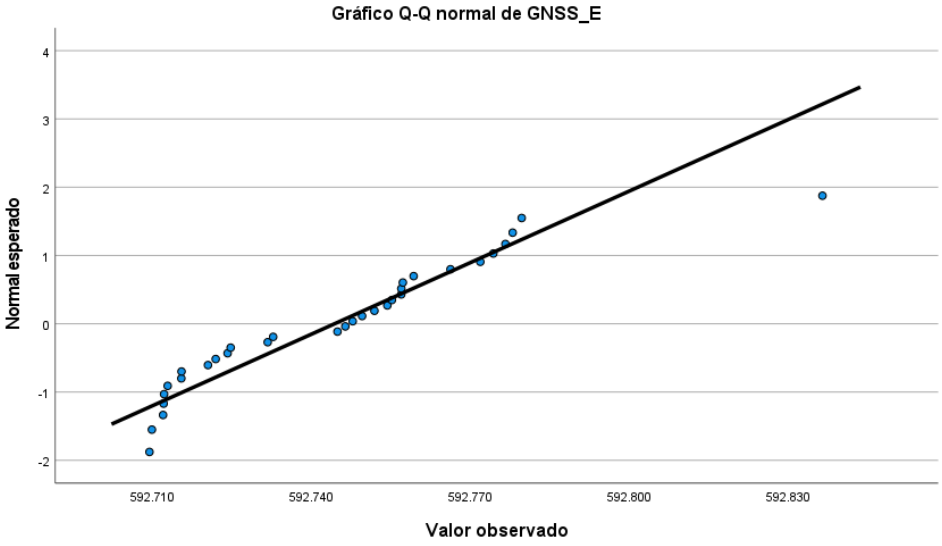


Figura N° 40: Análisis de normalidad GNSS – RTK (Este)

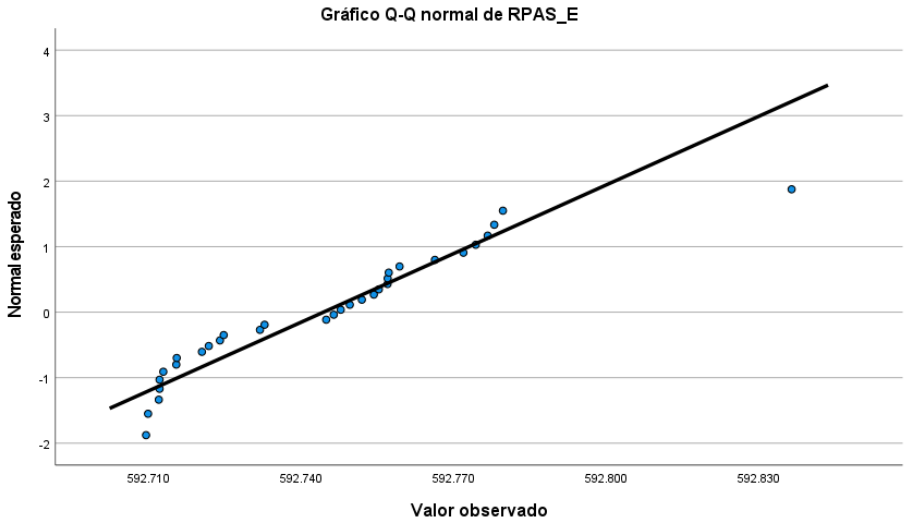


Figura N° 41: Análisis *de* normalidad RPAS (Este)

Paso 4: Análisis inferencial: Prueba no paramétrica de Wilcoxon

Esta prueba de hipótesis se realizó en el programa estadístico SPSS Statistics 27, después del análisis de normalidad. La prueba de Wilcoxon es una prueba no paramétrica para datos que no presentan una distribución normal.

Con esta prueba, se evalúo la existe de diferencia entre las coordenadas (ESTE) de los centroides obtenidos mediante levantamiento fotogramétrico con RPA y el levantamiento con GNSS – RTK de los predios afectados por el derecho de vía.

Los resultados de significancia y los datos descriptivos (media, desviación, valores mínimos y máximos) se presentan en las Tablas 12 y 13:

Tabla N° 12:

Significancia de la prueba Wilcoxon

	GNSS RTK – RPAS
Z	-1,346[b]
Significancia (bilateral)	**0.178**

Tabla N° 13:

Resultados estadísticos descriptivos

	N	**Media (m)**	**Desviación (m)**	**Mínimo (m)**	**Máximo (m)**
GNSS_E	32	592,744.37	28.64	592,709.44	592836.49
RPAS_E	32	592,744.37	28.64	592709,50	592836.50

4.1.2. Resultado de la prueba de Wilcoxon

Con base en el nivel de significancia ($p > 0.05$), se rechaza la hipótesis alternativa y se acepta la hipótesis nula (H0). es decir, no existe diferencia significativa entre las coordenadas (Este) de los centroides entre el levantamiento fotogramétrico con RPA y el levantamiento con GNSS-RTK de los predios afectados por el derecho de vía.

4.2. Análisis en la coordenada Norte

Se realizará una comparación de los datos de las coordenadas NORTE en los centroides entre el levantamiento fotogramétrico con RPA y el levantamiento con GNSS – RTK de los predios afectados por el derecho de vía, siguiendo los mismos pasos realizados anteriormente.

- Paso 1: Hipótesis general

H_0= No existe diferencia significativa en las coordenadas de los centroides entre el levantamiento fotogramétrico con RPA y el levantamiento con GNSS – RTK

H_1= Existe diferencia significativa en las coordenadas de los centroides entre el levantamiento fotogramétrico con RPA y el levantamiento con GNSS – RTK.

- Datos para utilizar en las coordenadas Norte (N):

Recopilación de datos de las coordenadas Norte (N) de los centroides de los predios levantados en campo por GNSS método RTK y RPAS, por lote. ∆N significa la diferencia o el desfase entre ambos cálculos.

Tabla N° 14:

Diferencia absoluta de la coordenada Norte, Zona 17S

	Lote	LEVANTAMIENTO GNSS - RTK – N (metro)	LEVANTAMIENTO RPAS – N (metro)	∆N (metro)
1	17	9435733.269	9435733.169	0.10
2	24	9435689.163	9435689.239	0.08
3	22	9435702.925	9435703.001	0.08
4	20	9435716.657	9435716.726	0.07
5	31	9435639.287	9435639.221	0.07
6	23	9435696.532	9435696.594	0.06
7	18	9435727.114	9435727.172	0.06
8	34	9435609.663	9435609.607	0.06
9	29	9435649.377	9435649.335	0.04
10	38	9435588.276	9435588.237	0.04
11	15	9435722.552	9435722.514	0.04
12	28	9435657.999	9435658.033	0.03
13	13	9435741.647	9435741.617	0.03
14	35	9435610.222	9435610.247	0.02
15	30	9435650.454	9435650.433	0.02
16	40	9435574.450	9435574.471	0.02
17	39	9435580.862	9435580.882	0.02
18	37	9435595.374	9435595.355	0.02
19	14	9435732.956	9435732.939	0.02
20	26	9435665.598	9435665.615	0.02
21	33	9435627.089	9435627.101	0.01
22	25	9435681.788	9435681.796	0.01
23	16	9435708.413	9435708.420	0.01
24	42	9435622.069	9435622.075	0.01
25	41	9435618.179	9435618.185	0.01
26	36	9435601.037	9435601.042	0.01
27	21	9435711.388	9435711.392	0.00
28	19	9435718.699	9435718.702	0.00

	Lote	LEVANTAMIENTO GNSS - RTK – N (metro)	LEVANTAMIENTO RPAS – N (metro)	ΔN (metro)
29	43	9435626.923	9435626.924	0.00
30	44	9435721.339	9435721.339	0.00
31	32	9435639.464	9435639.464	0.00
32	27	9435660.020	9435660.020	0.00

En la siguiente figura 42 se presenta el desfase entre los datos de las coordenadas, es decir, la diferencia en el cálculo de las coordenadas Norte de los centroides usando levantamiento fotogramétrico con RPA y el levantamiento con GNSS – RTK de los predios afectados por el derecho de vía. El promedio fue de 0.0293, siendo el máximo desfase en el Lote 17 y el mínimo desfase en el Lote 27.

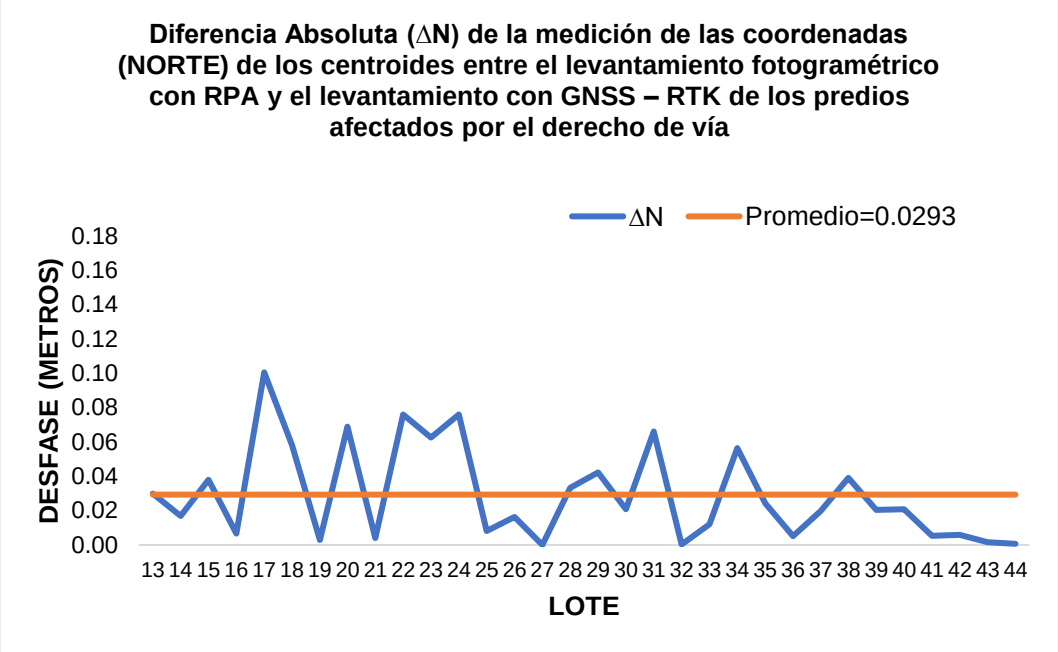


Figura N° 42: Desfase en la coordenada Norte

- **Paso 2:** Nivel de confiabilidad

Para las coordenadas NORTE, también se ha considerado el valor intermedio del nivel de significancia:

  - Nivel de significancia: 5%
  - Nivel de confianza: 95%

- **Paso 3:** Prueba de normalidad: Shapiro-Wilk

Para las coordenadas NORTE, se usó utilizó la prueba de normalidad Shapiro-Wilk, dado que el número de muestras es menor de 50. Para este análisis, se empleó el programa estadístico SPSS statistics 27, para ambas variables. Las hipótesis para este análisis son:

- HO: datos se aproximan a la distribución normal: P valor ≥ 5%
- H1: datos no se aproximan a la distribución normal: P valor < 5%

4.2.1. Prueba de normalidad de los datos en la coordenada Norte (m)

Tabla N° 15:

Prueba de normalidad en la coordenada Norte

Norte (m)	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
GNSS – RTK	0.936	32	**0.058**
RPAS	0.936	32	**0.057**

Resultados de la prueba de normalidad para coordenadas Norte (N)

Se encontró que los datos de las coordenadas NORTE levantadas con GNSS - RTK y con RPAS siguen una distribución normal, sig (p>0.05) por tanto, se acepta la hipótesis nula (H0) y se rechaza la hipótesis alternativa (H1), es decir, los datos si se aproximan de una distribución normal.

En los siguientes gráficos se observa el comportamiento de los datos en el análisis de normalidad, donde se puede observar que existe una tendencia a la distribución normal (p = 0.057 y 0.058) datos que se aproximan a la línea central, lo que resulta en una distribución normal según el nivel de significancia para ambos conjuntos de datos, GNSS - RTK y RPAS, el cual se muestra en la Figura 43 y 44.

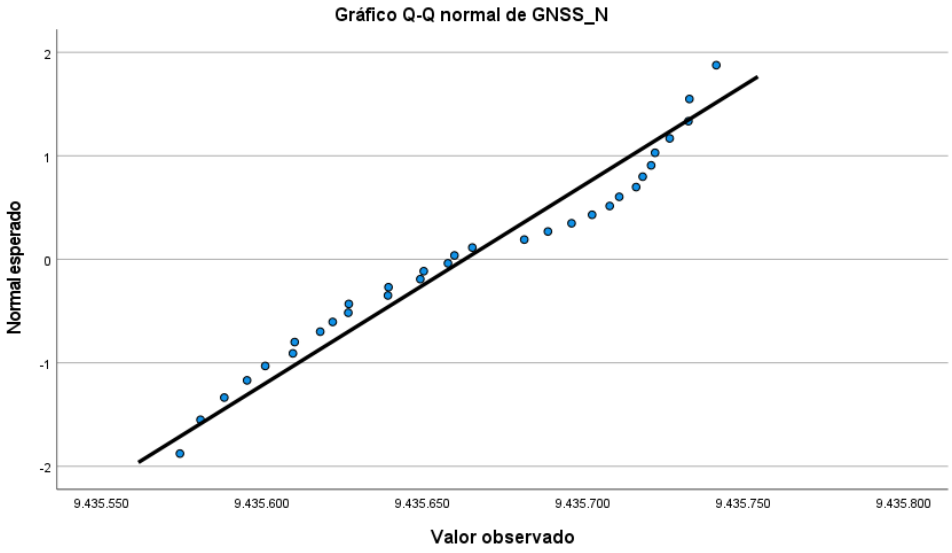


Figura N° 43: Análisis de normalidad GNSS - RTK (Norte)

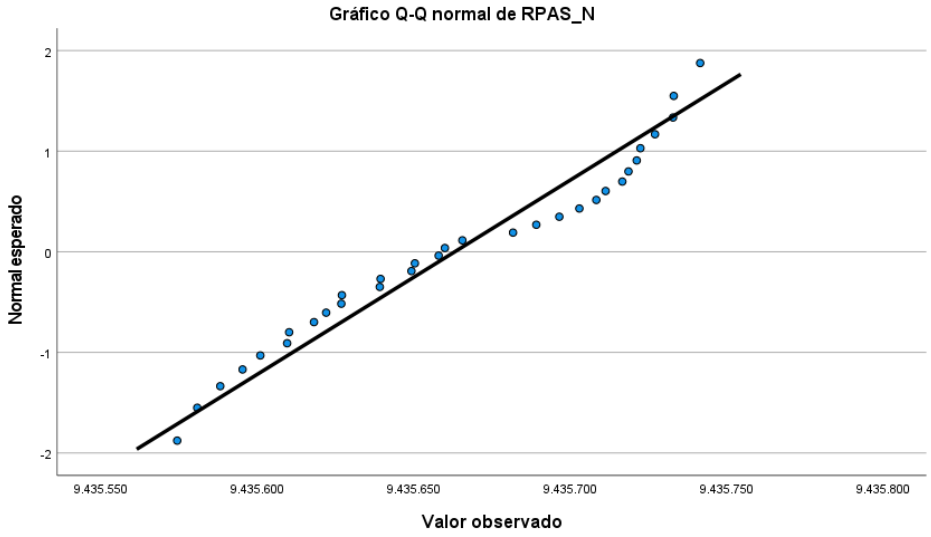


Figura N° 44: Análisis de normalidad RPAS (Norte)

De esta manera, se usó una prueba paramétrica, la prueba de T Student para comparación de medias de las variables.

- **Paso 4: Análisis inferencial:** Prueba T Student

Esta prueba, T Student o prueba T, de hipótesis se realizó en el programa estadístico SPSS Statistics 27, posterior al análisis de normalidad. La prueba de Student es una prueba paramétrica para comparación de medias de datos que presentan una distribución normal.

Con esta prueba se evalúa si existe diferencia o no entre los datos de las coordenadas (NORTE) de los centroides.

Según el análisis, los resultados de significancia (sig) grados de libertad (gl), además de los datos descriptivos como media, desviación y error estándar, se muestran en el cuadro a seguir:

4.2.2. Análisis inferencial prueba t

Tabla N° 16:

Resultados de la prueba t

PRUEBA T	Diferencias emparejadas			T	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desviación estándar	Media de error estándar			
GNSS_N - RPAS_N	-0.00256	0.04049	0.00716	-0.358	31	**0.723**

Según el nivel de significancia (p valor = 0.723 > 0.05), se rechaza la hipótesis alternativa y se acepta la hipótesis nula (H0), es decir, no existe diferencia significativa entre las coordenadas NORTE de los centroides.

Capítulo V: Tolerancia catastrales registrales de los datos obtenidos

En este capítulo, se llevó a cabo una comparación entre los datos obtenido mediante el Levantamiento Fotogramétrico con RPAS y el Levantamiento Topográfico con GNSS – RTK. Dónde se realizará una evaluación de las áreas obtenidas para cada predio afectado.

En primer lugar, se presentarán los datos generales recopilados en ambos levantamientos. Posteriormente, se extraerán las áreas correspondientes de los 32 predios para su análisis en relación con las Tolerancias Catastrales Registrales establecidas en la Directiva 001 – 2008 – SNCP/CNC, la cual forma parte del Sistema Nacional Integrado de Información Catastral Predial (SNCP).

5.1. Datos obtenidos con levantamiento GNSS - RTK

En la obtención de los datos característicos de cada predio afectado por el derecho de vía mediante el levantamiento topográfico GNSS – RTK, se generó la Tabla 17.

Tabla N° 17:

Datos obtenidos de los predios con GNSS - RTK

	Lote	Centroide		Área Obtenida (me2)
		Este (metro)	Norte (metro)	
1	13	592776.647	9435741.647	144.62
2	14	592771.902	9435732.956	214.39
3	15	592766.271	9435722.552	210.71
4	16	592759.320	9435708.413	343.50
5	17	592731.763	9435733.269	256.33
6	18	592724.776	9435727.114	269.77
7	19	592732.794	9435718.699	110.44
8	20	592724.196	9435716.657	174.35
9	21	592721.949	9435711.388	196.81
10	22	592720.488	9435702.925	294.08
11	23	592715.498	9435696.532	196.73
12	24	592712.121	9435689.163	352.64
13	25	592749.587	9435681.788	665.36
14	26	592712.878	9435665.598	140.14
15	27	592744.943	9435660.020	148.38
16	28	592712.205	9435657.999	289.91
17	29	592746.423	9435649.377	210.25
18	30	592709.444	9435650.454	263.71
19	31	592747.810	9435639.287	143.23
20	32	592712.013	9435639.464	436.07

	Lote	Centroide		Área Obtenida (me2)
		Este (metro)	Norte (metro)	
21	33	592709.904	9435627.089	540.32
22	34	592715.463	9435609.663	491.70
23	35	592751.917	9435610.222	100.16
24	36	592754.353	9435601.037	66.73
25	37	592756.976	9435595.374	108.91
26	38	592756.993	9435588.276	116.78
27	39	592757.276	9435580.862	111.19
28	40	592755.213	9435574.450	44.92
29	41	592774.360	9435618.179	78.21
30	42	592778.006	9435622.069	84.82
31	43	592779.714	9435626.923	95.59
32	44	592836.494	9435721.339	110.34

5.2. Datos obtenidos con levantamiento RPAS

En la obtención de los datos característicos de cada predio afectado por el derecho de vía mediante el levantamiento Fotogramétrico RPAS, se generó la Tabla 18.

Tabla N° 18:

Datos obtenidos de los predios con RPAS

	Lote	Centroide		Área Obtenida (m2)
		Este (metro)	Norte (metro)	
1	13	592776.711	9435741.617	145.48
2	14	592771.934	9435732.939	215.41
3	15	592766.325	9435722.514	211.15
4	16	592759.370	9435708.420	344.20
5	17	592731.909	9435733.169	252.23
6	18	592724.777	9435727.172	269.46
7	19	592732.817	9435718.702	112.03
8	20	592724.036	9435716.726	176.46
9	21	592721.842	9435711.392	197.99
10	22	592720.493	9435703.001	293.44
11	23	592715.535	9435696.594	195.45
12	24	592712.160	9435689.239	351.14
13	25	592749.581	9435681.796	664.14
14	26	592712.894	9435665.615	138.82
15	27	592744.941	9435660.020	148.46
16	28	592712.157	9435658.033	289.68
17	29	592746.430	9435649.335	210.51
18	30	592709.501	9435650.433	263.85
19	31	592747.796	9435639.221	142.02
20	32	592712.006	9435639.464	434.60

	Lote	Centroide		Área Obtenida (m2)
		Este (metro)	Norte (metro)	
21	33	592709.895	9435627.101	540.40
22	34	592715.448	9435609.607	494.09
23	35	592751.955	9435610.247	99.94
24	36	592754.312	9435601.042	66.79
25	37	592757.011	9435595.355	110.56
26	38	592757.033	9435588.237	115.66
27	39	592757.244	9435580.882	109.15
28	40	592755.295	9435574.471	44.41
29	41	592774.360	9435618.185	78.33
30	42	592778.001	9435622.075	84.46
31	43	592779.705	9435626.924	95.63
32	44	592836.504	9435721.339	109.51

5.3. Comparación de áreas obtenidas

Se realizará una comparación del área obtenida mediante el levantamiento fotogramétrico RPAS en relación con el levantamiento GNSS – RTK, donde se calcularán variaciones porcentuales del área, como se muestra en la Tabla 19.

Tabla N° 19:

Comparación de áreas obtenidas

No	Lote	ÁREA LEVANTAMIENTO GNSS - RTK (m2)	ÁREA LEVANTAMIENTO RPAS (m2)	% VARIACIÓN DEL ÁREA
1	39	111.19	109.15	1.87%
2	17	256.33	252.23	1.63%
3	37	108.91	110.56	1.49%
4	19	110.44	112.03	1.42%
5	20	174.35	176.46	1.20%
6	40	44.92	44.41	1.15%
7	38	116.78	115.66	0.97%
8	26	140.14	138.82	0.95%
9	31	143.23	142.02	0.85%
10	44	110.34	109.51	0.76%
11	23	196.73	195.45	0.65%
12	21	196.81	197.99	0.60%
13	13	144.62	145.48	0.59%
14	34	491.7	494.09	0.48%
15	14	214.39	215.41	0.47%
16	24	352.64	351.14	0.43%
17	42	84.82	84.46	0.43%
18	32	436.07	434.6	0.34%
19	22	294.08	293.44	0.22%
20	35	100.16	99.94	0.22%

No	Lote	ÁREA LEVANTAMIENTO GNSS - RTK (m2)	ÁREA LEVANTAMIENTO RPAS (m2)	% VARIACIÓN DEL ÁREA
21	15	210.71	211.15	0.21%
22	16	343.5	344.2	0.20%
23	25	665.36	664.14	0.18%
24	41	78.21	78.33	0.15%
25	18	269.77	269.46	0.12%
26	29	210.25	210.51	0.12%
27	36	66.73	66.79	0.09%
28	28	289.91	289.68	0.08%
29	27	148.38	148.46	0.05%
30	30	263.71	263.85	0.05%
31	43	95.59	95.63	0.04%
32	33	540.32	540.4	0.01%

5.4. Validación de datos según la tolerancia catastral registral

Obtenidos los valores de variación porcentual de las áreas de los 32 predios afectados por el derecho de vía (ver Tabla 12), se procederá a la aceptación de la tolerancia catastral registral. Este proceso está normado por la Directiva 001 – 2008 – SNCP/CNC con fecha 29.08.2008, la cual considera los valores permitidos según el tipo de predio a levantar. Para las Zonas Urbanas, se rige por la Tabla 20, y para las Zonas Rurales, por la Tabla 21.

Tabla N° 20:

Tolerancia catastral en zonas urbanas

Zonas Urbanas	
Área de Predio(m2)	**Tolerancia (%)**
menores de 200	2.5
de 200 a 1000	2.0
mayores a 1000	1.0

Fuente: Superintendencia Nacional de los Registros Públicos (2008)

Tabla N° 21:

Tolerancia catastral en zonas rurales

Zonas Rurales	
Área de Predio (Ha)	**Tolerancia (%)**
menores de 1	7.5
de 1 a 5	6.3
mayores a 5	3.0

Fuente: Superintendencia Nacional de los Registros Públicos (2008)

Para determinar si los predios son urbanos o rurales, se solicitó el Plan de Desarrollo Urbano (PDU) de la ciudad de Chulucanas, a la Municipalidad de

Chulucanas mediante carta. Dicho plan tiene vigencia para el período 2020-2030. (Municipalidad Provincial de Morropón Chulucanas, s.f.)

En la figura 45, se presenta el plano de la distribución de la ciudad de Chulucanas, se concluye que los predios se encuentran en una zona urbana. Considerando esta condición, se procederá a evaluar las tolerancias catastrales, obteniendo la Tabla 22.

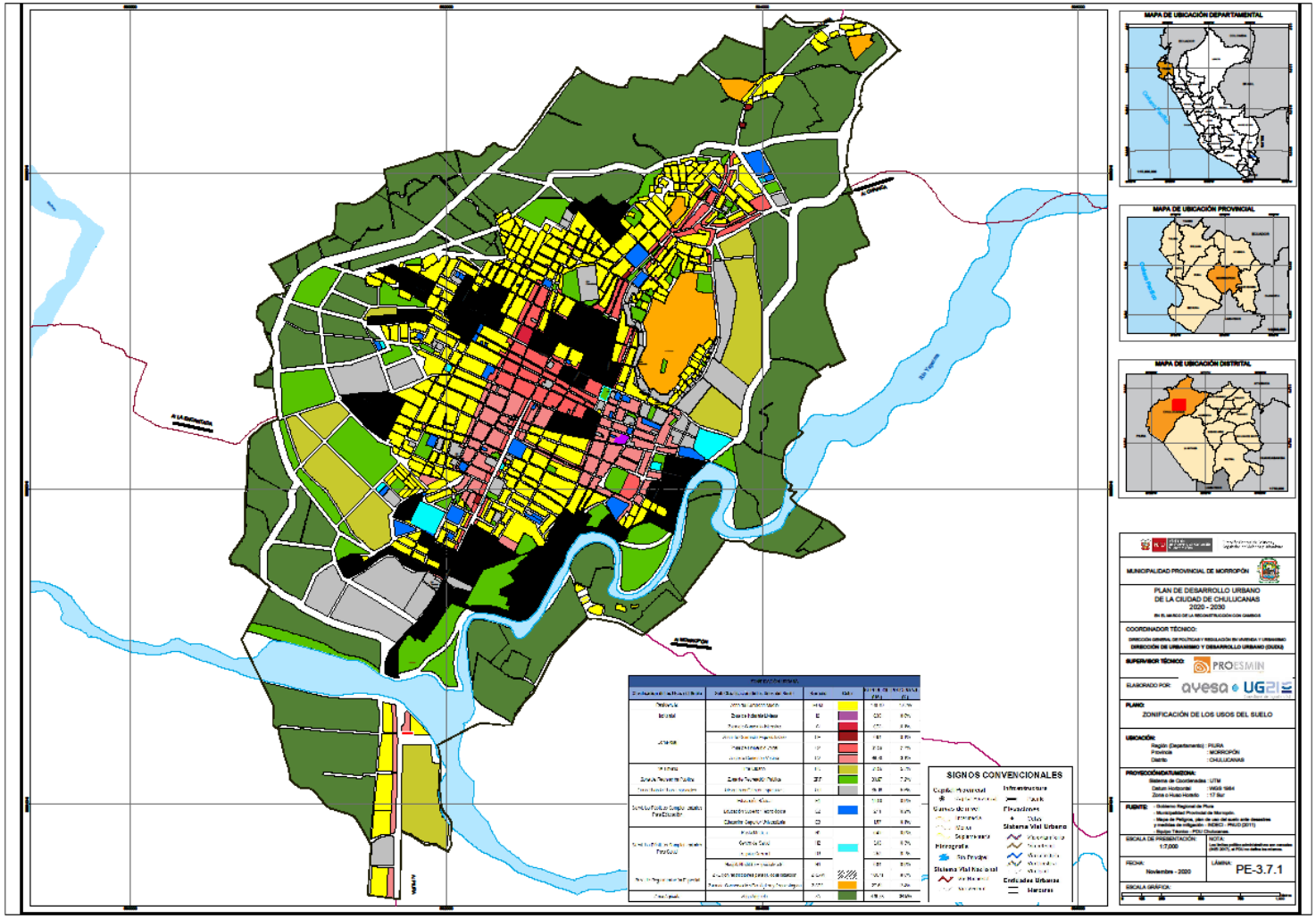


Figura N° 45: Plan de Desarrollo Urbano (PDU) de la Ciudad de Chulucanas.

Fuente: Municipalidad Provincial de Morropón Chulucanas (s.f.)

Tabla N° 22:

Análisis de las tolerancias catastrales registrales

No	Lote	ÁREA DE LEVANTAMIENTO GNSS-RTK (m2)	ÁREA DE LEVANTAMIENTO RPAS (m2)	% de variación del área	% tolerancia aceptable según SNCP/CNC	Condición
1	39	111.19	109.15	1.87%	2.50%	Se Acepta
2	17	256.33	252.23	1.63%	2.00%	Se Acepta
3	37	108.91	110.56	1.49%	2.50%	Se Acepta
4	19	110.44	112.03	1.42%	2.50%	Se Acepta
5	20	174.35	176.46	1.20%	2.50%	Se Acepta
6	40	44.92	44.41	1.15%	2.50%	Se Acepta
7	38	116.78	115.66	0.97%	2.50%	Se Acepta
8	26	140.14	138.82	0.95%	2.50%	Se Acepta
9	31	143.23	142.02	0.85%	2.50%	Se Acepta
10	44	110.34	109.51	0.76%	2.50%	Se Acepta
11	23	196.73	195.45	0.65%	2.50%	Se Acepta
12	21	196.81	197.99	0.60%	2.50%	Se Acepta
13	13	144.62	145.48	0.59%	2.50%	Se Acepta
14	34	491.70	494.09	0.48%	2.00%	Se Acepta
15	14	214.39	215.41	0.47%	2.00%	Se Acepta
16	24	352.64	351.14	0.43%	2.00%	Se Acepta
17	42	84.82	84.46	0.43%	2.50%	Se Acepta
18	32	436.07	434.60	0.34%	2.00%	Se Acepta
19	22	294.08	293.44	0.22%	2.00%	Se Acepta
20	35	100.16	99.94	0.22%	2.50%	Se Acepta
21	15	210.71	211.15	0.21%	2.00%	Se Acepta
22	16	343.50	344.20	0.20%	2.00%	Se Acepta
23	25	665.36	664.14	0.18%	2.00%	Se Acepta
24	41	78.21	78.33	0.15%	2.50%	Se Acepta
25	18	269.77	269.46	0.12%	2.00%	Se Acepta
26	29	210.25	210.51	0.12%	2.00%	Se Acepta
27	36	66.73	66.79	0.09%	2.50%	Se Acepta
28	28	289.91	289.68	0.08%	2.00%	Se Acepta
29	27	148.38	148.46	0.05%	2.50%	Se Acepta
30	30	263.71	263.85	0.05%	2.00%	Se Acepta
31	43	95.59	95.63	0.04%	2.50%	Se Acepta
32	33	540.32	540.40	0.01%	2.00%	Se Acepta

En la Tabla 22 se observa que todos los valores obtenidos de los porcentajes de variación de áreas, al comparar el levantamiento fotogramétrico RPAS con respecto al levantamiento GNSS – RTK, son inferiores a los porcentajes máximos tolerables. Por lo tanto, se aceptan todas las variaciones de áreas.

Capítulo VI: Análisis comparativo de datos obtenidos

Se han analizado los resultados obtenidos están vinculados con la resolución de las preguntas planteadas en el objetivo de la presente investigación, abordando la comprensión y explicación de los resultados de los métodos de levantamiento de campo y gabinete. Asimismo, se ha utilizado diferentes softwares para poder culminar con la hipótesis planteada en la presente investigación. En ese sentido se analizaron los resultados de los siguientes ítems:

6.1. Análisis de la diferencia del levantamiento RPAS y GNSS- RTK

Para determinar la diferencia entre el levantamiento fotogramétrico RPAS y el GNSS – RTK, se consideró la variación de las coordenadas Este y Norte de los puntos de apoyo fotogramétrico (PAF) en comparación con los resultados de la ortofoto, como se mostró en la Tabla 23:

Tabla N° 23:

Diferencia en los puntos de apoyo fotogramétrico, zona 17S

No	LEVANTAMIENTO GNSS - RTK		LEVANTAMIENTO RPAS		∆E (cm)	∆N (cm)	Diferencia (cm)
	Este (m)	Norte (m)	Este (m)	Norte (m)			
PAF 4	592747.071	9435356.730	592747.034	9435356.598	3.68	13.15	13.66
PAF 5	592828.419	9435460.618	592828.310	9435460.537	10.92	8.10	13.60
PAF 3	592669.665	9435438.287	592669.538	9435438.243	12.76	4.49	13.53
PAF 2	592726.366	9435571.711	592726.305	9435571.725	6.07	-1.41	6.23
PAF 7	592878.488	9435237.402	592878.465	9435237.459	2.29	-5.69	6.13
PAF 1	592761.419	9435714.804	592761.388	9435714.786	3.08	1.81	3.57
PAF 6	592882.673	9435646.038	592882.673	9435646.043	0.03	-0.56	0.56

En la evaluación de la diferencia del levantamiento fotogramétrico RPAS y el GNSS – RTK se observó que hubo una precisión promedio de 8.18 cm.

6.2. Análisis de tolerancia catastral registral

Según el Plan de desarrollo Urbano (PDU) de la Ciudad de Chulucanas, visualizada en Figura 45, en donde se encuentra la zona de interés de la presente investigación, se informa que la ciudad se encuentra en una expansión urbana. Por lo tanto, los 32 predios se consideraron en una Zona urbana.

En base a lo anterior y de acuerdo con la directiva 001-2008-SNCP/CNC con fecha 29.08.2008, se aplicarán las tolerancias catastrales indicadas en la Tabla 20.

Al comparar los porcentajes de la variación del área de cada predio entre el levantamiento fotogramétrico RPAS y el levantamiento GNSS – RTK, detallados en la Tabla 19, se observó que la variación máxima de área es del 1.87 %, correspondiente al lote 39, y está por debajo del porcentaje máximo del 2.5 % indicando que todas las variaciones de área se encuentran dentro de los valores tolerables. Por lo tanto, se puede afirmar que el levantamiento fotogramétrico RPAS cumplen con la Directiva 001-2008-SNCP/CNC que regula las Tolerancias Catastrales Registrales.

6.3. Análisis comparativo de tiempos

A continuación, se presentan los tiempos por cada actividad, clasificadas según el tipo de levantamiento:

Tabla N° 24:

Tiempo de ejecución en el levantamiento GNSS - RTK

			Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7
LEVANTAMIENTO CON GNSS-RTK	**01**	**Trabajo de campo**							
	01.01	Reconocimiento del lugar de trabajo	X						
	01.02	Monumentación de BM's	X						
	01.03	Levantamiento en Campo		X	X				
	02	**Trabajo en Gabinete**							
	02.01	Procesamiento de datos				X	X	X	
	02.02	Elaboración de planos					X	X	X

Tabla N° 25:

Tiempo de ejecución en el levantamiento fotogramétrico RPAS

			Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5
LEVANTAMIENTO CON RPAS	**01**	**Trabajo de pre-campo**					
	01.01	Elaboración de plan de vuelo	X				
	01.02	Ubicación previa de PAF's	X				
	01.03	Ubicación previa de PG	X				
	02	**Trabajo de campo**					
	02.01	Monumentación de PG		X			
	02.02	corrección y lectura de PAF's		X	X		
	02.03	Corrección y vuelo de RPAS			X		
	03	**Trabajo de gabinete**					
	03.01	Procesamiento de imágenes RPAS			X		
	03.02	Elaboración de planos			X	X	X

En los datos de la Tabla 24 y 25, se observa que el levantamiento fotogramétrico RPAS requiere 5 días para completar la totalidad del trabajo, mientras que el levantamiento con GNSS – RTK requiere 7 días para finalizar todos los trabajos. Se destaca que el levantamiento fotogramétrico es más rápido en 2 días en comparación con el levantamiento GNSS – RTK. Cabe mencionar que, para un área de 18.10 ha con 32 predios afectados, se necesitarán 5 días de trabajo con el levantamiento fotogramétrico.

La diferencia de tiempo de 2 días es crucial, ya que acelera la adquisición del predio, especialmente en la etapa de identificación. Este reducido de tiempo es significativo en la adquisición del predio, ya que sienta las bases para las etapas subsiguientes de acuerdo con el TUO del Decreto Legislativo 1192. (Mivivienda, 2020)

6.4. Análisis comparativo de costos

El valor de los costos para los trabajos de levantamiento catastral, serán presentados de manera general, como se muestra a continuación:

Tabla N° 26:

Costo del levantamiento GNSS-RTK

		Unid	Cant.	Precio (inc. IGV)	Parcial	Días	Total
LEVANTAMIENTO GNSS-RTK	**DESCRIPCIÓN DE RECURSO**						
	MANO DE OBRA				**SUBTOTAL**		**S/ 870.00**
	Topógrafo	Unid.	1	S/ 150.00	S/ 150.00	3	S/ 450.00
	Ayudante	Unid.	1	S/ 60.00	S/ 60.00	2	S/ 120.00
	Cadista	Unid.	1	S/ 100.00	S/ 100.00	3	S/ 300.00
	MATERIAL				**SUBTOTAL**		**S/ 322.00**
	Mezcla de concreto	m3	0.096	S/ 250.00	S/ 24.00	-	S/ 24.00
	Varilla de acero (1/2")	ml	1	S/ 40.00	S/ 40.00	-	S/ 40.00
	Madera tornillo	p2	1	S/ 8.00	S/ 8.00	-	S/ 8.00
	Placa de Bronce	Unid.	1	S/ 250.00	S/ 250.00	-	S/ 250.00
	EQUIPOS Y FICHAS				**SUBTOTAL**		**S/ 2,113.30**
	Ficha ERP	Unid.	1	S/ 116.70	S/ 116.70	-	S/ 116.70
	Data ERP	Unid.	1	S/ 119.40	S/ 119.40	-	S/ 119.40
	GPS diferencial (base y Rover)	Unid.	1	S/ 500.00	S/ 500.00	2	S/ 1,000.00
	Software Leica infinitity	Unid	1	S/ 39.60	S/ 39.60	7	S/ 277.20
	Camioneta	Unid.	1	S/ 300.00	S/ 300.00	2	S/ 600.00
					TOTAL		**S/ 3,305.30**

Tabla N° 27:

Costo del levantamiento fotogramétrico RPAS

		Unid	Cant	Precio (inc. IGV)	Parcial	Días	Total
LEVANTAMIENTO RPAS	**DESCRIPCIÓN DE RECURSO**						
	MANO DE OBRA				**SUBTOTAL**		**S/ 660.00**
	Piloto RPAS	Unid.	1	S/ 150.00	S/ 150.00	1	S/ 150.00
	Procesador de imágenes RPAS	Unid.	1	S/ 150.00	S/ 150.00	1	S/ 150.00
	Ayudante	Unid.	1	S/ 60.00	S/ 60.00	1	S/ 60.00
	Cadista	Unid.	1	S/ 100.00	S/ 100.00	3	S/ 300.00
	MATERIAL				**SUBTOTAL**		**S/ 382.00**
	Mezcla de concreto	m3	0.096	S/ 250.00	S/ 24.00	-	S/ 24.00
	Varilla de acero (1/2")	ml	1	S/ 40.00	S/ 40.00	-	S/ 40.00

Madera tornillo	p2	1	S/ 8.00	S/ 8.00	-	S/ 8.00
Placa de Bronce	Unid.	1	S/ 250.00	S/ 250.00	-	S/ 250.00
Pintura	Unid.	1	S/ 60.00	S/ 60.00		S/ 60.00
EQUIPOS Y FICHAS				**SUBTOTAL**		**S/ 1,945.35**
GPS Diferencial	Unid.	1	S/ 500.00	S/ 500.00	-	S/ 500.00
Compra de ficha ERP	Unid.	1	S/ 116.70	S/ 116.70	-	S/ 116.70
Compra de Data ERP	Unid.	1	S/ 119.40	S/ 119.40	-	S/ 119.40
RPAS	Unid.	1	S/ 400.00	S/ 400.00	1	S/ 400.00
Camioneta	Unid.	1	S/ 300.00	S/ 300.00	2	S/ 600.00
Software Leica infinitity	Unid	1	S/ 39.60	S/ 39.60	5	S/ 198.00
Software Agisoft	Unid.	1	S/ 2.25	S/ 2.25	5	S/ 11.25
				TOTAL		**S/ 2,987.35**

Según las Tablas 26 y 27 se observa que el costo del levantamiento fotogramétrico con RPAS tiene un monto de S/. 3,305.30, y el costo por el levantamiento GNSS – RTK tiene un monto de S/. 2,987.35, en ese sentido se decido optar por el levantamiento fotogramétrico RPAS porque es S/. 317.95 más económico en comparación con el levantamiento GNSS – RTK

Finalmente, se debe señalar que el levantamiento fotogramétrico RPAS tiene un costo total de S/. 2,987.35, para un área de 18.10 ha. Entonces el costo por hectárea (ha) asciende a S/. 165.05.

Conclusiones

Se analizó la variación porcentual del área de los predios del levantamiento fotogramétrico RPAS en comparación con el levantamiento topográfico GNSS-RTK, y se obtuvo que la variación mínima de área fue del 0.01% en el lote 33, mientras que la variación máxima de área fue del 1.87 % en el lote 39. Al comparar estos valores con la Directiva 001-2008-SNCP/CNC se obtiene la Tabla 20, en donde se observa que todas las variaciones de área están por debajo de los límites aceptables.

Se realizó un análisis estadístico de los centros geométricos en los 32 predios urbanos afectados por el derecho de vía, en la cual se usó la prueba de Wilcoxon para las coordenadas Este y la prueba t-student para las coordenadas Norte. y se observó que las coordenadas Este y Norte no existe diferencia significativa entre el levantamiento fotogramétrico RPAS y el levantamiento topográfico con GNSS-RTK.

Se analizó la comparativa de tiempos entre el levantamiento topográfico GNSS-RTK y el levantamiento fotogramétrico RPAS donde se obtuvo una cantidad de 7 y 5 días respectivamente. Es decir, que el tiempo de trabajo empleado para el levantamiento fotogramétrico RPAS representa el 71.43% del tiempo empleado para levantamiento topográfico GNSS-RTK.

Se analizó la comparativa de costos entre el levantamiento topográfico GNSS-RTK y el levantamiento fotogramétrico RPAS donde se obtuvo una cantidad de S/. 3,305.30 y S/. 2.987.35 respectivamente. Es decir, que el costo del levantamiento fotogramétrico RPAS representa el 90.38% del costo total del levantamiento topográfico GNSS-RTK.

Con base en la información del Plan de desarrollo urbano suministrado por la Ciudad de Chulucanas (ver Figura 45), se estableció que los 32 predios están ubicados en una zona urbana. Por lo tanto, el análisis de la tolerancia catastral registral se rige por los parámetros establecidos en la Tabla 20.

Los 32 predios fueron sometidos a un análisis estadístico con un nivel de confiabilidad del 95%, revelando que no existe una diferencia significativa en las coordenadas Este y Norte de cada centro geométrico correspondiente a los predios afectados por el derecho de vía.

Se analizó exclusivamente la diferencia entre el levantamiento fotogramétrico RPAS y el levantamiento topográfico GNSS-RTK en esta investigación, evaluando los 7 puntos de apoyo fotogramétrico (PAF), donde se obtuvo una diferencia promedio de 8.18 cm. Es importante resaltar que este cálculo es específico para esta investigación y que, en otros estudios, se deberá emplear puntos de control para calcular la precisión.

Finalmente se mencionó que para un área de 18.10 ha el costo del levantamiento fotogramétrico RPAS es de S/. 2,987.35 obteniendo un costo por hectárea (ha) de S/. 165.05.

Recomendaciones

En la investigación realizada se ha considerado una cantidad de 32 predios afectados por el derecho de vía, los cuales se encuentran en zonas urbanas, por lo que se recomienda seguir con la investigación en zonas rurales.

En los trabajos de georreferenciación en campo se recomienda considerar la norma técnica geodésica de la IGN, así como se realizó en la presente investigación.

Para los trabajos de levantamiento fotogramétrico RPAS la planificación es fundamental por lo que se recomienda elaborar un plan de trabajo antes de las salidas de campo. El plan de trabajo deberá contener el plan de vuelo, la hora de vuelo, estación del año, restricción de área de vuelo (Aeropuertos, Base militares), lista de puntos de apoyo fotogramétrico preliminares (PAF) y Zonas de influencia magnéticas (reduce la precisión del equipo).

Se recomienda hacer un pre Check-list antes de iniciar el vuelo, para las condiciones de vuelo del equipo RPAS, como se hizo en la presente investigación, en donde se revisará: la altura de vuelo, calibración de las brújulas, calibración de las cámaras, baterías optimas, velocidad del viento, verificación de hélices.

En la obtención de las fotografías, se recomienda realizar el vuelo con equipo RPAS entre las 9:00 a.m. y las 4:00 p.m. siempre y cuando las condiciones climatológicas sean optimas.

En la presente investigación, se ha utilizado el modelo de RPAS DJI PHANTOM 4 PRO. Considerando que existe diversos modelos y marcas de RPAS en el mercado, se recomienda la evaluación de predios afectados con otras marcas y modelos de RPAS.

Referencias bibliográficas

Aroni, J. L. (2021). *Análisis del levantamiento catastral GNSS (RTK) y base gráfica Cofopri, de predios afectados por derecho de vía, región Ancash, 2020* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio Institucional UNI. http://hdl.handle.net/20.500.14076/22209

Berné, J. L., Garrido, N., & Capilla, R. (2019). *GNSS: GPS, Galileo, Glonass, Beidou. Fundamentos y métodos de posicionamiento*. Editorial Universitat Politècnica de València. https://riunet.upv.es/handle/10251/118522

Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres. (2017). *Protocolo para la operación de los sistemas de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS).* MINDEF. https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/docs/difusion-manuales/protocolo.pdf

Chambilla, H. F., & Mamani, N. (2018). *Diferencia de áreas de los predios catastrales con estación total, drone e imágenes satelitales del centro poblado de Salcedo - Puno* [Tesis del Título Profesional, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio Institucional de la UNAP. http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/10581

Chuvieco, E. (1990). *Fundamentos de Teledetección Espacial*. Ediciones Rialp S.A.

Congreso de la Republica del Perú. (2004). *Ley 28294, Ley que crea el Sistema Nacional Integrado de Catastro Predial y su vinculación con el Registro de Predios.* Diario Oficial El Peruano del 21 de julio de 2004. https://sncp.gob.pe/ova_doc/modifican-el-art-3-de-la-ley-n-28294-ley-que-crea-el-sistema-nacional-integrado-de-catastro-predial-y-su-vinculacion-con-el-registro-de-predios/

Congreso de la Republica del Perú. (2012). *Ley 2718, Ley general de Transporte y Tránsito Terrestre.* Diario Oficial El Peruano del 21 de noviembre de 2012. https://www.gob.pe/institucion/congreso-de-la-republica/normas-legales/9868-27181

Congreso de la Republica del Perú. (2018). *Ley 30740, Ley que regula el uso y las operaciones de los Sistemas de Aeronaves Pilotadas a Distancia (RPAS)*. Diario oficial El Peruano del 21 de marzo de 2018. https://www.gob.pe/institucion/mtc/normas-legales/355491-30740-ley-

que-regula-el-uso-y-las-operaciones-de-los-sistemas-de-aeronaves-pilotadas-a-distancia-rpas

Constitución Política del Perú. (1993). *Congreso Constituyente Democrático*. https://www.congreso.gob.pe/Docs/constitucion/constitucion/index.html

Da Jiang Innovations. (s.f.). *Especificaciones Phantom 4 pro*. https://www.dji.com/global/phantom-4-pro/info

Dirección General de Aeronáutica Civil. (2015). *Norma Técnica Complementaria. Lima. Ministerio de Transporte y Comunicaciones*. MTC. https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/390602/NTC__RPAS__texto_.pdf?v=1571265754.

Dirección General de Industria, Energía y Minas de la comunidad de Madrid. (2015). *Los Drones y sus aplicaciones a la Ingeniería Civil.* Comunidad de Madrid. https://www.madrid.org/bvirtual/BVCM015384.pdf

Ferreccio, N. (2006). *Análisis de la técnica RTK.* Editorial de la Universidad de la Plata.

Flores, C. E., & Flores, K. L. (2021). Pruebas para comprobar la normalidad de datos en procesos productivos: Anderson-Darling, Ryan-Joiner, Shapiro-Wilk y Kolmogórov-Smirnov. *Societas, 23* (2), 83-106. https://revistas.up.ac.pa/index.php/societas/article/view/2302

France Cerna, G. E. (2018). *Conservación vial para su recuperación, evaluación y uso del derecho de vía de la carretera Huarmey – Aija – Recuay del km 000+000 AL km 041+00* [Tesis de maestría, Universidad Privada Antenor Orrego]. Repositorio Institucional UPAO. https://hdl.handle.net/20.500.12759/4045

GisAndBeers. (2018). *Puntos de control para drones y plantillas de dianas*. http://www.gisandbeers.com/puntos-de-control-drones-plantillas-dianas/

GisAndBeers. (2019). *Parametrización del plan de vuelo de drones.* http://www.gisandbeers.com/planificacion-del-plan-de-vuelo-drones/

Google Earth. *(s.f.)* Servicios de mapas de Google*.* https://earth.google.com/web/

Google Maps. (s.f.) *Servicios de mapas de Google*. https://maps.app.goo.gl/KtFJLSFUn8E2wuqj9

Goss Sampson, M. (2018). Análisis estadístico con JASP: una guía para estudiantes.

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2014). *Metodología de la Investigación*. Mc Graw Hill Education.

Instituto Geográfico Nacional. (2020). Norma Técnica “especificaciones técnicas para posicionamiento geodésico estático relativo con receptores del sistema satelital de navegación global. Gob.pe. https://www.gob.pe/institucion/ign/informespublicaciones/543958-norma-tecnica-especificaciones-tecnicas-para-posicionamiento-geodesico-estatico-relativo-con-receptores-del-sistema-satelital-de-navegacion-global

Martínez, A. (2019). *Catastro y propiedad de la tierra en el mundo antiguo*. Universidad del Tolima.

Mena Frau, C. (2002). *Cartografía y fotogrametría forestal*. Universidad de Talca.

Mendoza, D. E. (2021). *Evaluación de la precisión planimétrica y altimétrica en un levantamiento fotogramétrico realizado por una aeronave piloteada remotamente* [Tesis de Título Profesional, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio Institucional de la UNI. http://hdl.handle.net/20.500.14076/20207.

Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (2008). *Decreto Supremo 034-2008-MTC.* Gob.pe https://www.gob.pe/institucion/mtc/normas-legales/10019-034-2008-mtc

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2019). *Ley 27261, Ley de Aeronáutica Civil del Perú.* Gob.pe. https://www.gob.pe/institucion/mtc/normas-legales/395507-27261-ley-de-aeronautica-civil

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2020*). Decreto Legislativo 1192, Ley Marco Adquisición y Expropiación de inmuebles, transferencia de inmuebles de propiedad del estado, liberación de interferencias y dicta otras medidas para la ejecución de obras de infraestructura.* Diario oficial El Peruano del 26 de octubre de 2020. https://www.gob.pe/institucion/mtc/informes-publicaciones/3328836-decreto-legislativo-1192

Montúfar, G. G., & Silva, F. L. (2021). Prevalencia del catastro sobre el Registro de Predios para corregir inexactitudes registrales. *Ius Et Praxis,* (52), 197-211. https://doi.org/10.26439/iusetpraxis2021.n052.5219

Morales, Y. P. (2021). *Aplicación de fotogrametría con dron para la actualización de los factores físicos del catastro urbano del distrito de Ticapampa - Recuay - Ancash - 2019* [Tesis de Título Profesional, Universidad Nacional

Santiago Antúnez de Mayolo]. Repositorio Institucional de la UNSAM. http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/4486.

Municipalidad Provincial de Morropón Chulucanas. (s.f.). *Portal web de Municipalidad Provincial de Morropón Chulucanas*.Gob.pe. https://www.gob.pe/munichulucanas

Ordoñez, C. A. (2005). Formatos de Imagen Digital. *Revista Digital Universitaria, 5* (7), 10. http://www.revista.unam.mx/vol.6/num5/art50/int50.htm.

Orellana, R. (2021). *Aerofotogrametría para principiantes Vehículos aéreos no tripulados.* http://www.ingedat.cl

Pix4D SA. (2021). *Tamaño de pixel en el terreno (GSD).* https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/360033638951-Tama%C3%B1o-de-pixel-en-el-terreno-GSD

Portillo, A. M. (2007). El Catastro en el Perú, avances y nuevas estrategias. *CT catastro, 12* (59), 39-50. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2359956

Prado, E. G. (2021*). Alcances sobre la Adquisición de Predios y su Saneamiento Físico Legal en los Proyectos de Infraestructura Pública* [Tesis de licenciatura, Pontificie Universidad Católica del Perú]. Repositorio Institucional de la PUCP. http://hdl.handle.net/20.500.12404/18920

Presidencia de La República. (18 de julio de 1973). *Decreto Ley 20081, Dictan disposiciones sobre inmuebles afectados por trazos en vías públicas.* http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_863.pdf

Quirós, E. (2014). Introducción a la Fotogrametría y Cartografía aplicadas a la Ingeniería Civil. Universidad de Extremadura.

Santamaría, J., & Sanz, T. (2011). *Fundamentos de Fotogrametría*. Universidad de la Rioja.

Superintendencia Nacional de los Registros Públicos. (2008). *Directiva 01-2008-SNCP/CNC "Tolerancia Catastrales-Registrales"*. Diario oficial El Peruano del 29 de agosto de 2008. https://sncp.gob.pe/cat_doc/tolerancias-catastrales/

UNACEM. (s.f.). *Portal web de UNACEM*. https://unacem.pe/

Visalot, A. A. (2022). *Aplicación de la fotogrametría RPAS en la zonificación urbana del sector Manchibamba, Chachapoyas* [Tesis de Título Profesional, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional Toribio

Rodríguez de Mendoza de Amazonas. https://hdl.handle.net/20.500.14077/2823

Zaldivar, R., & Duffóo, V. (2021). Dos Siglos Sin Ti: La falta de un verdadero catastro en el Perú y sus consecuencias. *Forseti, 10*(14), 39. https://hdl.handle.net/11354/3169

Anexos

Anexo A: Matriz de Consistencia 102
Anexo B: Ficha de estación de Rastreo Permanente - PI06 103
Anexo C: Certificación de Equipo CHCNAV I90 107
Anexo D: Diario de Observación 110
Anexo E: Procesamiento de Punto Geodésico 111
Anexo F: Especificaciones Técnicas - PHANTOM 4 PRO 116
Anexo G: CHECK LIST de plan de vuelo 119
ANEXO H: Licencia Piloto RPAS 120
Anexo I: Ortofoto del Área de Investigación 121
Anexo J: Procesamiento de Imágenes Nativas - AGISOFT 122
Anexo K: Puntos De Apoyo Fotogramétrico (PAF) - AGISOFT 123
Anexo L: Modelo Digital De Terreno (MDT) 124
Anexo M: Parámetros de Procesamiento De Imágenes 125
Anexo N: Planos 128

Anexo A: Matriz de Consistencia

MATRIZ DE CONSISTENCIA

Problemática	Objetivo	Hipótesis	Variable	Dimensiones	instrumento
Variable Independiente					
Problema General: ¿El levantamiento fotogramétrico RPAS será igual de preciso que un levantamiento GNSS - RTK, para las medidas catastrales de los limites prediales o interferencias que están dentro del área del Derecho de Vía y así poder acordar el tiempo y costo de adquisición de predios dentro del Derecho de Vía?	**Objetivo General:** Se realizará el análisis comparativo del levantamiento fotogramétrico con el RPAS y el levantamiento GNSS – RTK con objetivo de determinar la confiabilidad del levantamiento fotogramétrico con RPAS, evaluando la aceptación de valores dentro de las tolerancias catastrales y estadísticas establecidas. Además se persigue la reducción del tiempo y costo en las actividades de adquisición.	**Hipótesis General:** El levantamiento fotogramétrico RPAS generará datos confiables para determinar las coordenadas de predios involucradas en el área del Derecho de Vía, siguiendo las tolerancias catastrales regístrales y estadísticas. Esto garantizará un tiempo y costo menor en la adquisición de predios que ocupan las áreas del derecho de vía.	Levantamiento Fotogramétrico	Tiempo de vuelo RPAS Altura de vuelo RPAS Calidad de la cámara del RPAS Área en común de fotografías consecutivas Detalle de pixeles Programa de procesamiento de fotografías	RPAS Laptop
Variable Dependiente					
Problemas Específicos: ● ¿El levantamiento fotogramétrico RPAS cumplen con los requisitos de monumentación de punto geodésico que estipula la norma técnica geodésica del IGN? ● ¿EL levantamiento fotogramétrico con el Sistema de Aeronave Pilotada a Distancia (RPAS) cumple con las tolerancias catastrales registrales que estipula el Sistema Nacional Integrado de Información Catastral Predial (SNCP)? ● ¿Los datos obtenidos de las coordenadas de los predios tendrán validez estadística?	**Objetivos Específicos:** ● Analizar las coordenadas de los predios en los levantamientos utilizados, y determinar si cumplen con las tolerancias catastral según el SNCP. ● Realizar un análisis estadístico de los desfases de coordenadas de predios afectados por el derecho de vía, para garantizar la confiabilidad de datos. ● Analizar la comparativa de los tiempos y costos que se usó en los diferentes métodos de levantamientos.	**Hipótesis Especifica:** ● Las variaciones de las coordenadas de los predios con los levantamientos catastrales utilizados cumplen con las Tolerancias Catastrales Registrales según lo estipulado en la SNCP. ● Los desfases de las coordenadas en los centros geométricos de los predios afectados cumplen con la significancia estadística. ● Los tiempos y costos usando el levantamiento fotogramétrico RPAS son menores con respecto al levantamiento GNNS – RTK.	Análisis Estadístico Tolerancia Catastral Precisión Tiempo Costo	Normalidad de la prueba Aceptación por SNCP Precisión total del levantamiento Tiempo total de levantamiento Costo total de levantamiento	Prueba Wilconxon Prueba t-student Análisis matemático Análisis matemático Análisis matemático

Anexo B: Ficha de estación de Rastreo Permanente - PI06

INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL
SUBDIRECCIÓN DE CARTOGRAFÍA
DEPARTAMENTO DE PROCESAMIENTO GEODÉSICO

FORMULARIO DE INFORMACIÓN DE LA ESTACIÓN GNSS DE RASTREO PERMANENTE

0. DATOS GENERALES:

Preparado por:	Departamento de Procesamiento Geodésico
Realizado:	1 de julio de 2019
Versión:	3.0.0

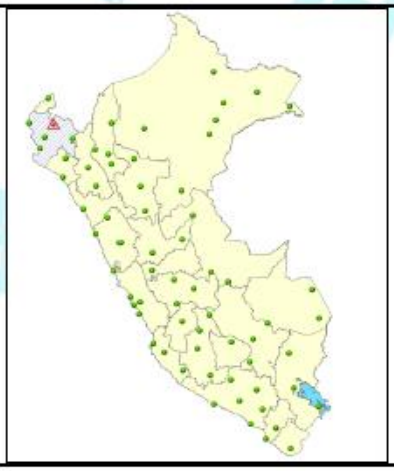
1. INFORMACIÓN DE LA ESTACIÓN GNSS:

Nombre:	Las Lomas
Código Nacional:	PI06
Código Internacional:	42262M001
Inscripción:	Placa de bronce
Orden de la estación:	"0"
Fecha de monumentación:	13 de setiembre de 2017

2. INFORMACIÓN SOBRE LA LOCALIZACIÓN:

Departamento:	Piura
Provincia:	Piura
Distrito:	Las Lomas
Ubicación de la estación:	Municipalidad Distrital De Las Lomas

CROQUIS DE UBICACIÓN



PI06 1 | 4

INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL
SUBDIRECCIÓN DE CARTOGRAFÍA
DEPARTAMENTO DE PROCESAMIENTO GEODÉSICO

3. COORDENADAS DE LA ESTACIÓN:

Sistema de referencia: GRS80 / WGS84	Marco de referencia: ITRF2000

3.1. GEODÉSICAS:

Latitud (S)	Longitud (O)
04° 39' 26.65190"	80° 14' 34.87708"
Altura Elipsoidal (m)	**Factor de escala combinado**
263.4185	0.999687245556

3.2. CARTESIANAS

X (m)	Y (m)	Z (m)
1077399.1296	-6265521.1802	-514454.7881

3.3. UTM

Este (m)	Norte (m)
583958.9098	9485160.5913
Zona: 17 Sur	

4. INFORMACIÓN SOBRE EL EQUIPO GNSS

4.1. RECEPTOR:

Modelo:	NET R5 TRIMBLE, Doble frecuencia
N° de serie:	4806K53394
Versión del firmware:	4.03
Fecha de instalación:	15 de setiembre de 2017
Ubicación del receptor:	El receptor se encuentra dentro de una caja metálica de color blanco humo empotrada en la pared, ubicada en el interior de la oficina de Catastro de la mencionada institución.

4.2. ANTENA:

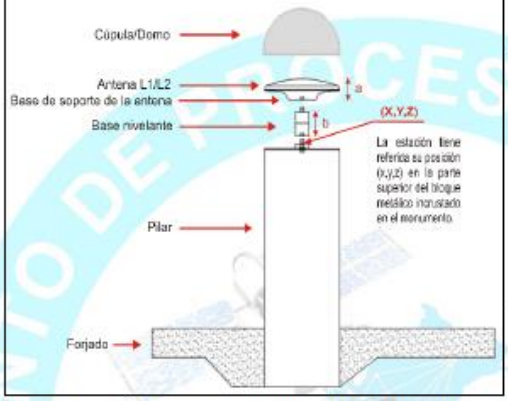
Modelo:	Zephyr Geodetic Model 2 (L1,L2) Trimble
N° de serie:	30738913
Cubierta protectora:	con domo
Medición de la antena:	ARP
Altura de la antena:	0.0950 m
Fecha de instalación	15 de setiembre de 2017
Ubicación de la antena:	La antena está instalada en un monumento de concreto de 2.50 m de alto y 40 cm x 40 cm de ancho de color crema, ubicada en la prolongación de una columna del primer piso de la mencionada institución.

PI06 2 | 4

INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL
SUBDIRECCIÓN DE CARTOGRAFÍA
DEPARTAMENTO DE PROCESAMIENTO GEODÉSICO

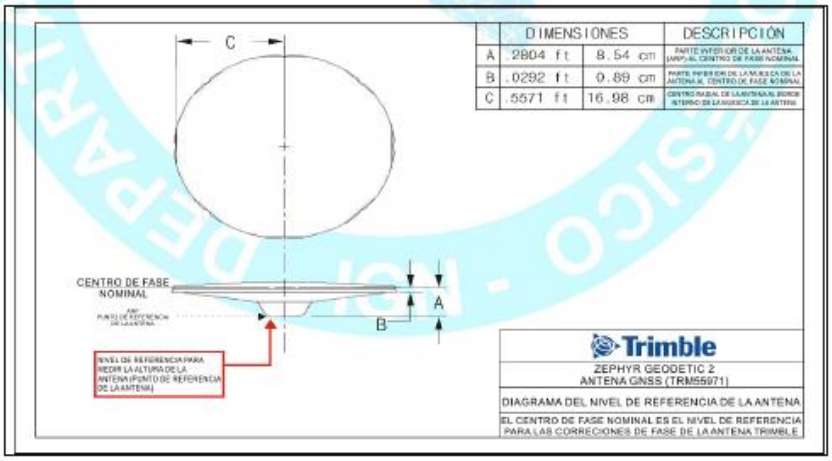
5. ESQUEMA DE LA ESTACIÓN

5.1.ESQUEMA DE ALTURA DE LA ANTENA



a = 8.54 cm	Distancia de compensación del centro de fase. (Phase Center Offset)
b = 9.50 cm	Distancia entre la base de soporte de la antena y el límite superior del bloque metálico incrustado en el monumento.

5.2.DIMENSIONES DE LA ANTENA



	DIMENSIONES		DESCRIPCIÓN
A	.2804 ft	8.54 cm	PARTE INFERIOR DE LA ANTENA (ARP) AL CENTRO DE FASE NOMINAL
B	.0292 ft	0.89 cm	PARTE INFERIOR DE LA MUESCA DE LA ANTENA AL CENTRO DE FASE NOMINAL
C	.5571 ft	16.98 cm	CENTRO RADIAL DE LA ANTENA AL BORDE INTERNO DE LA MUESCA DE LA ANTENA

PI06 3 | 4

INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL
SUBDIRECCIÓN DE CARTOGRAFÍA
DEPARTAMENTO DE PROCESAMIENTO GEODÉSICO

6. INFORMACIÓN SOBRE EL PROCESAMIENTO

Área de mantenimiento:	DPG
Área de control:	DPG
Área de procesamiento:	DPG
Observables:	L1, L2, C1, P2
Intervalo de registro:	5 seg
Máscara de elevación:	5°
Archivo diario:	24 HRS
Formato de archivo nativo:	*T01
Datos para el procesamiento:	27 de mayo al 9 de junio de 2019
Tipo de órbita:	Efemérides precisas finales
Archivo procesado:	Rinex 2.11
Software de procesamiento:	Gamit / Globk V 10.7
Procesador y analista GNSS:	Mario César Mendoza Del Aguila
Revisado por:	CAP. EP. Rogger Montpoya Monroy

7. CONTACTOS

Oficina:	Departamento de Procesamiento Geodésico
Dirección:	Av. Andrés Aramburú 1184, Surquillo, Lima 34, Perú
Teléfono:	4759960 / 4753030 Anexo 120
Correo:	cpg@ign.gob.pe / cpg.ign@hotmail.com
Web site:	http://209.45.65.186/rastreo_permanente

DEPARTAMENTO GEODÉSICO - IGN - PROCESAMIENTO

PI06 4 | 4

Anexo C: Certificación de Equipo CHCNAV I90

COSOLA GROUP S.A.C.

www.cosola.com
YouTube: Cosola

CERTIFICADO DE OPERATIVIDAD

Mantimento general	Reparacion	Operatividad OK	Garantia 1 año OK	NUEVO OK

DATOS DEL EQUIPO

Nombre : GPS DIFERENCIAL	**Especificaciones de Precicion (RMS) 1 2 3**	
Marca : CHCNAV	En tempo Real cinemática (RTK)	· Vertical: 5mm + 0.5 ppm RMS · Horizontal: 2.5mm + 0.5 ppm RMS
Modelo : I90		
Colectora Serie : 6207301811 **Modelo No:** HCE600	Estática de Post-procesamiento	· Vertical: 5mm + 0.5 ppm RMS · Horizontal: 2.5mm + 0.5 ppm RMS
Receptor BASE Serie : 3559713 **Receptor ROVER Serie :** 3559720	· Tiempo de observacion: Va de 4 a 30 minutos en funcion de la distancia entre los receptores y otros factores ambientales	

CERTIFICADO DE OPERATIVIDAD

Nro. : 008-0075
Fecha : 16/03/2023

METODOLOGIA APLICADA Y TRAZABILIDAD DE LOS PATRONES

▫ Los valores de rendimiento asumen un mínimo de 4 satélite, siguiendo los procedimientos recomendados en el manual del producto. Las zona de elevada recepción múltiple, los valores alto del PDOP y los periodos de condiciones atmosférica extremas pueden afectar al rendimiento

COSOLA GROUP S.A.C. bajo la acreditación de SGS ISO 9001-2008 certifica que el instrumento identificado a sido verificado en concordancia con los procedimientos de verificación establecida por el fabricante

OPERATIVIDAD Y MANTENIMIENTO

Fecha	Mantenimiento	Operatividad	Próxima Operatividad	Observación
16/01/2023		X	1 AÑO	% 100 OPERATIVO

Responsable de Verificación	Propietario	DNI
COSOLA GROUP S.A.C.	MAMANI BUENO FRANCIS ALBERTO	10466654928
TÉCNICA GEODÉSICO & OTROS COSOLA GROUP		

GARMIN MAGELLAN SPECTRA PRECISION SOUTH Leica Geosystems

CHCNAV
i90
Topografía e Ingeniería
Make your work more efficient
CHCNAV
1.25
1.30

Especificaciones

Rendimiento GNSS	
Canales	624 canales
GPS	L1 C/A, L2C, L2P, L5
GLONASS	L1, L2
Galileo	E1, E5a, E5b
BeiDou	B1, B2, B3
SBAS	L1
QZSS	L1, L2, L5
Precisión GNSS	
Tiempo real cinemática (RTK)	Horizontal: 8 mm + 1 ppm RMS Vertical: 15 mm + 1 ppm RMS Tiempo de inicialización: <10 s Fiabilidad de inicialización > 99.9%
Cinemática de postprocesamiento (PPK)	Horizontal: 2.5 mm + 1 ppm RMS Vertical: 5 mm + 1 ppm RMS
Post-procesamiento estático	Horizontal: 2.5 mm + 0.5 ppm RMS Vertical: 5 mm + 0.5 ppm RMS
Código diferencial	Horizontal: 0.25 m RMS
Autónomo	Horizontal: 1.5 m RMS Vertical: 3 m RMS
Velocidad de posicionamiento	Hasta 10 Hz
Tiempo para primer arranque	Inicio frío: < 45s Inicio caliente: < 10s Re-adquisición de señal: < 1s
RTK con compensación de inclinación	Incertidumbre adicional de estimación horizontal del poste, generalmente menor de 10 mm + inclinación de 0.7 mm / °
Hardware	
Tamaño (L × A × H)	150 mm x 150 mm x 110 mm (6.3 pulg. × 5.9 pulg. × 4.3 pulg.)
Peso	1.26 kg (2.77 lb)
Ambiente	En funcionamiento: -40 °C a +65 °C (-40 °F a +149 °F) Almacenamiento: -40 °C a +85 °C (-40 °F a +185 °F)
Humedad	100%
Protección de ingreso	IP67 a prueba de agua y polvo, protegido de la inmersión temporal a una profundidad de 1 m
Conmoción	Sobrevive a una caída de poste de 2 metros
Sensor de inclinación	IMU sin calibración para la compensación de inclinación del poste. Inmune a las perturbaciones magnéticas. Nivelación de EBubble
Panel frontal	4 LED retroiluminados Pantalla OLED de 1.48"
Certificaciones	
FCC Parte 15 (Dispositivo de clase B), FCC Parte 22, 24, 90; Marca CE; Calibración de antena NGS	

Comunicación	
Módem de red	Módem 4G integrado LTE (FDD): B1, B2, B3, B4, B5, B7, B8, B20 DC-HSPA+ / HSPA+ / HSPA / UMTS: B1, B2, B5, B8 EDGE / GPRS / GSM 850/900/1800 / 1900 MHz
Wi-Fi	802.11 b/g/n, modo de punto de acceso
Bluetooth	v4.1
Puertos	1 x puerto LEMO de 7 pines (alimentación externa, RS-232) 1 x puerto USB tipo C (descarga de datos, actualización de firmware) 1 x puerto de antena UHF (TNC hembra)
Radio UHF	Rx / Tx interno estándar: 410 MHz a 470 MHz Potencia de transmisión: 0.5 W a 2 W Protocolo: CHC, transparente, TT450 Velocidad de enlace: 9600 bps a 19200 bps Rango: Típico 3km a 5 km
Formatos de datos	RTCM 2.x, RTCM 3.x, entrada y salida CMR HCN, HRC, RINEX 2.11, 3.02 Salida NMEA 0183 Cliente NTRIP, NTRIP Caster
Almacenamiento de datos	8 GB de memoria interna
Eléctrico	
Consumo de energía	3W (según la configuración del usuario)
Capacidad de la batería	2 x 3400 2 x 3400mAh, 7.4 V
Tiempo de funcionamiento con batería interna	Recepción / transmisión en UHF (0.5 W): 6 h a 8 h Solo recepción celular: hasta 8 h Estático: hasta 18 h
Entrada de energía externa	9 V DC a 28 V DC

[illegible]

[illegible]

© 2019 Shanghai Huace Navigation Technology Ltd. Todos los derechos reservados. © CHC y el logotipo de CHC son marcas comerciales de Shanghai Huace Navigation Technology Limited. Todas las demás marcas comerciales son propiedad de sus respectivos dueños.

- Revisión agosto de 2019

Shanghai, 201702, China
Navigation Technology Ltd. 599 Gaojing Road, Building D
+ 86 21 54260273 WWW.CHCNAV.COM Shanghai Huace

Anexo D: Diario de Observación

Diario de Observación GNSS **Proyecto:** _____

Estación

Nombre Completo: PROVIAS NACIONAL - SE PROHIBE DESTRUIR - C - PIU04369 - FEB-2023 - PROPIEDAD DEL ESTADO

Identificación (4 letras): PIU04369

Inscripción en el monumento:

Fecha: 21/02/2023

Coordenadas Aproximadas:

Latitud: 05 ° 01 ' 53 " Longitud: 80 ° 11 ' 47 " Altura: 97 m

Receptor / Antena	**Tipo**	**Modelo**	**Nro. Serie**
Receptor: CHCNAV	i	90	3559713
Antena: CHCNAV	i	90	3559713

Software del Receptor (Versión): _____

Longitud del Cable Antena – Receptor: _____ m

Altura de la Antena

Sobre el monumento

Punto de referencia: INSTRUMENTO DE MEDICION DE ALTURA INCLINADA DE 12.4 cm.

☐ Vertical ó ☒ Inclinada

Antes de las Observaciones: 1.688 m

Después de las Observaciones: 1.688 m

Datos del Receptor: _____ m

Observación:

Nro. de la sesión del mismo día: 1

Intervalo de Medición: 1 Seg.

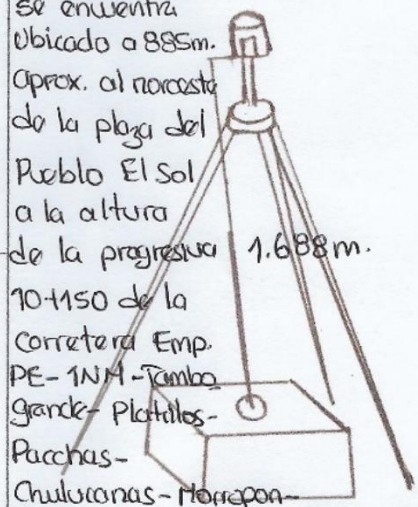
Elevación Mínima: 10 °

Hora de Inicio: 10:41 a.m.

Hora de Término: 16:02 p.m.

Operador / Institución: _____

Croquis de las medidas de la Antena (Ejemplo)



El punto PIU04369, se encuentra ubicado a 885m. aprox. al noroeste de la plaza del Pueblo El Sol a la altura de la progresiva 10+150 de la carretera Emp. PE-1NM - Tambo Grande - Platillos - Pacchas - Chulucanas - Morropon - Paltashaco - Chalaco Emp. PE-3N (Pacaipampa), distrito Chulucanas, provincia Morropon, departamento Piura.

Anexo E: Procesamiento de Punto Geodésico

Leica Geosystems AG
Heinrich Wild Strasse
CH-9435 Heerbrugg
St. Gallen, Switzerland

Phone: + 41 71 727 3131
Fax: + 41 71 727 4674

- when it has to be right

Leica Geosystems

GNSS Processing Report - Summary

Report created: 22/02/2023 14:00:45

Project Details

General		Customer Details		Master Coordinate System	
Project Name:	PI-220323	Customer Name:	-	Coordinate System Name:	WGS84 17S
Owner:	-	Contact Person:	-	Transformation Type:	Classical 3D
Lead Surveyor:	maquina1	Number:	-	Residual Distribution:	None
Date Created:	21/02/2023 15:40:01	Email:	-	Ellipsoid:	WGS 1984
Last Accessed:	22/02/2023 14:00:12	Skype:	-	Projection Type:	UTM
Application Software:	Infinity 3.2	Website:	-	Geoid Model:	Peru_EGM08
				CSCS Model:	-

Path:	I:\PIURA\PROYECTO LEICA\PI01-220323\PI 220323.iprj
Size:	172.1 MB
Comments:	-

Baseline PI06 - PIU04369

Processing Parameters (21/02/2023 10:41:32 - 22/03/2023 16:02:44)

Data	Selected	Used	Comments
Cut-Off Angle:	10°	10°	
Frequency:	Automatic	L1/L2	
Sampling Rate:	Use All	1.00 sec	
Satellite System:	GPS/GLONASS/Galileo/Beidou	GPS/GLONASS	
Ephemeris Type:	Precise	Precise	No frequency available for satellite R05. No frequency available for satellite R06. No frequency available for satellite R07. No frequency available for satellite R09. No frequency available for satellite R10. No frequency available for satellite R11. No frequency available for satellite R20. No frequency available for satellite R21. No Galileo precise ephemeris available, switched to broadcast ephemeris. No Beidou precise ephemeris available, switched to broadcast ephemeris.
Antenna Calibration Set:	NGS Absolute	NGS Absolute	

Processing Strategy

Solution Type:	Phase Fixed	Phase Fixed
Solution Optimisation:	Automatic	Iono Minimised
Frequency to use in Iono Minimised:	Automatic	L1/L2
Tropospheric Model:	VMF with GPT2 model	VMF with GPT2 model
Ionospheric Model:	Automatic	Computed
Allow Widelane Fix:	Automatic	Automatic

General Settings

Min. Distance for Iono Minimised:	15 km
Possible Ambiguities Fix up to:	300 km
Min. Duration for Float Solution (static):	00:05:00

Results Baseline: PI06 - PIU04369

Start Time - End Time:	21/02/2023 10:41:32 - 21/02/2023 16:02:44
Duration:	05:21:12

Antennas

	Reference - PI06	Rover - PIU04369
Receiver Name / SN:	TRIMBLE NETR8 / 4906K34410	CHC I90 / 3559713
Antenna Name / SN:	TRM55971.00 TZGD / 40925599	CHCI90 / 3559713
Carrier Offset:	-	0.0000 m
Height Reading:	0.0750 m	1.6830 m
Antenna Height:	0.0750 m	1.6830 m

Phase Center Offset

	Reference - TRM55971.00 TZGD		Rover - CHCI90	
GPS	**L1**	**L2**	**L1**	**L2**
East	-0.0002 m	0.0008 m	0.0022 m	0.0027 m
North	0.0011 m	0.0002 m	0.0016 m	0.0015 m
Up	0.0650 m	0.0574 m	0.1053 m	0.1065 m

GLONASS	L1	L2	L1	L2
East	-0.0002 m	0.0008 m	-	-
North	0.0011 m	0.0002 m	-	-
Up	0.0650 m	0.0574 m	-	-

Coordinates

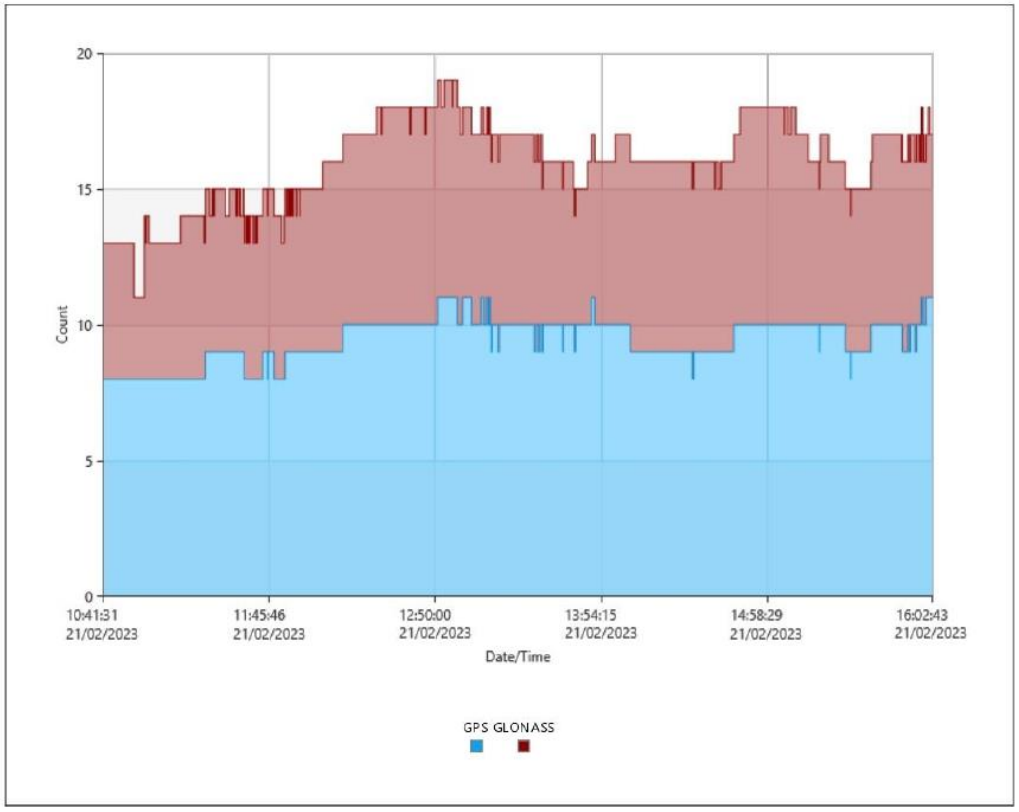
	Reference - PI01	Rover - PIU04369		Reference - PI01	Rover - PIU04369
Point Role:	Control	Fixed PP			
WGS84 Latitude:	5° 10' 47.79194" S	5° 01' 53.18871" S	Easting:	541,252.2367 m	589,073.6985 m
WGS84 Longitude:	80° 37' 39.96874" W	80° 11' 47.28316" W	Northing:	9,427,433.0123 m	9,443,805.4456 m
WGS84 Ellip. Height:	52.2020 m	96.5257 m	Ortho. Height:	40.5031 m	81.8781 m
WGS84 Cartesian X:	1,034,460.3564 m	1,081,866.5329 m			
WGS84 Cartesian Y:	-6,267,518.6600 m	-6,261,037.7203 m			
WGS84 Cartesian Z:	-572,008.7491 m	-555,655.9786 m			

Baseline Vector and Quality - WGS84

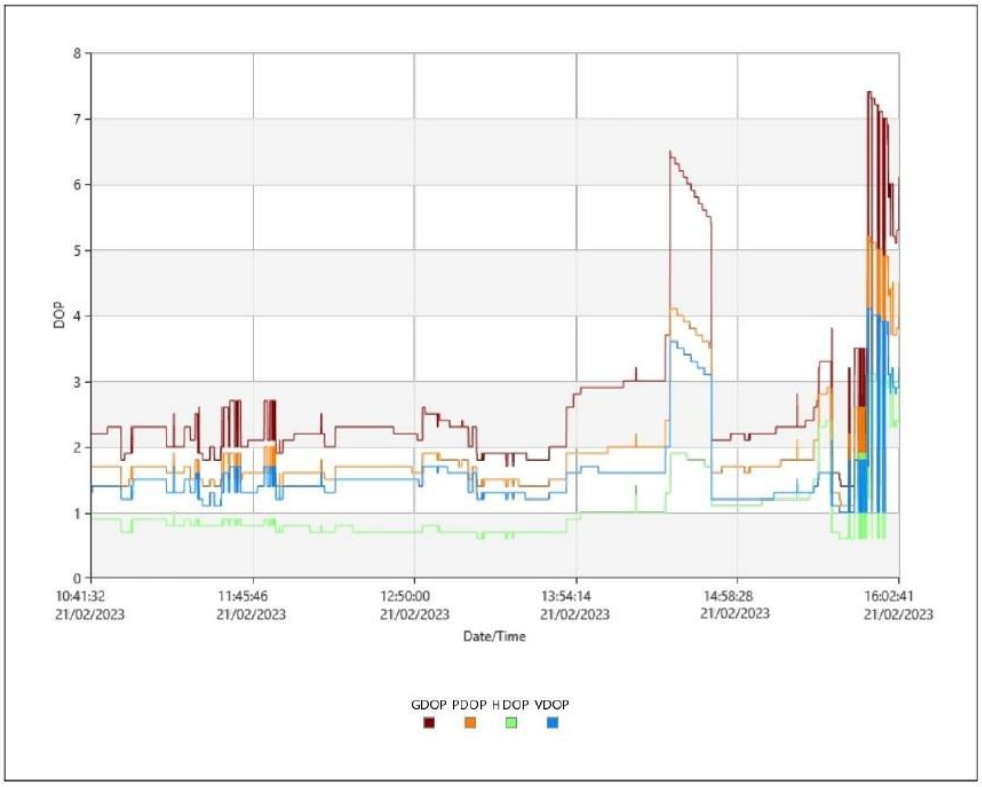
ΔLatitude:	0° 08' 54.60323"	SD ΔLatitude:	0.0001 m		
ΔLongitude:	0° 25' 52.68558"	SD ΔLongitude:	0.0002 m		
ΔHeight:	44.3237 m	SD ΔHeight:	0.0004 m		
ΔX:	47,406.1765 m	SD ΔX:	0.0002 m		
ΔY:	6,480.9397 m	SD ΔY:	0.0004 m		
ΔZ:	16,352.7705 m	SD ΔZ:	0.0001 m		
Slope Dist.:	50,564.4268 m	SD Slope Dist.:	0.0002 m		
M0:	0.7602 m	CQ 1D:	0.0004 m		
Q11:	0.00000006	CQ 2D:	0.0002 m		
Q12:	-0.00000003	CQ 3D:	0.0004 m		
Q22:	0.00000026				
Q13:	-0.00000001				
Q23:	0.00000002				
Q33:	0.00000004				
Frequency:	L1/L2	GDOP:	1.4 - 7.4	GPS SVs:	10/11
Solution Optimisation:	Iono Minimised	PDOP:	1.1 - 5.2	GLONASS SVs:	7/8
Solution Type:	Phase Fixed	HDOP:	0.6 - 3.1	Beidou SVs:	-
		VDOP:	1.0 - 4.1	Galileo SVs:	-
				QZSS SVs:	-
Ephemeris Type:					
GPS	Precise				
GLONASS	Precise				

Processing Info (21/02/2023 10:41:32 - 21/02/2023 16:02:44)

SVs Tracked



DOP



Ambiguity Statistics

Number of Ambiguities	GPS	GLONASS	Beidou	Galileo
Fixed	94	89	0	0
Total	156	171	0	0
Independently fixed	7,821	7,820	0	0
Possible independently fixed	8,546	8,546	8,546	8,546

Average time between independent fixes: 00:02:04

% of Epochs	GPS		GLONASS	
	L1 [%]	L2 [%]	L1 [%]	L2 [%]
Fixed	86.05	86.24	74.86	76.67
Not fixed	1.15	0.21	0.48	0.64
Not fixed - contradiction	12.80	13.54	24.66	22.68
Not fixed - missing phase	0.00	0.01	0.00	0.00

Status	From Epoch	To Epoch	Duration
Fixed	21/02/2023 10:41:32	21/02/2023 15:35:36	04:54:04
Not fixed	**21/02/2023 15:35:36**	**21/02/2023 15:35:50**	**00:00:14**
Fixed	21/02/2023 15:35:50	21/02/2023 15:35:57	00:00:07
Not fixed	**21/02/2023 15:35:57**	**21/02/2023 15:42:36**	**00:06:39**
Fixed	21/02/2023 15:42:36	21/02/2023 15:42:43	00:00:07
Not fixed	**21/02/2023 15:42:43**	**21/02/2023 15:42:44**	**00:00:01**
Fixed	21/02/2023 15:42:44	21/02/2023 15:42:49	00:00:05
Not fixed	**21/02/2023 15:42:49**	**21/02/2023 15:42:58**	**00:00:09**
Fixed	22/03/2023 15:42:58	21/02/2023 15:43:09	00:00:11
Not fixed	**21/02/2023 15:43:09**	**21/02/2023 15:43:10**	**00:00:01**
Fixed	21/02/2023 15:43:10	21/02/2023 15:43:11	00:00:01
Not fixed	**21/02/2023 15:43:11**	**21/02/2023 15:44:52**	**00:01:41**
Fixed	21/02/2023 15:44:52	21/02/2023 15:46:24	00:01:32
Not fixed	**21/02/2023 15:46:24**	**21/02/2023 15:47:02**	**00:00:38**

Fixed	21/02/2023 15:47:02	21/02/2023 15:47:18	00:00:16
Not fixed	**21/02/2023 15:47:18**	**21/02/2023 15:47:32**	**00:00:14**
Fixed	21/02/2023 15:47:32	21/02/2023 15:47:33	00:00:01
Not fixed	**21/02/2023 15:47:33**	**21/02/2023 15:47:56**	**00:00:23**
Fixed	21/02/2023 15:47:56	21/02/2023 15:47:57	00:00:01
Not fixed	**21/02/2023 15:47:57**	**21/02/2023 15:48:06**	**00:00:09**
Fixed	21/02/2023 15:48:06	21/02/2023 15:48:35	00:00:29
Not fixed	**21/02/2023 15:48:35**	**21/02/2023 15:48:42**	**00:00:07**
Fixed	21/02/2023 15:48:42	21/02/2023 15:49:10	00:00:28
Not fixed	**21/02/2023 15:49:10**	**21/02/2023 15:49:42**	**00:00:32**
Fixed	21/02/2023 15:49:42	21/02/2023 15:51:44	00:02:02
Not fixed	**21/02/2023 15:51:44**	**21/02/2023 15:51:48**	**00:00:04**
Fixed	21/02/2023 15:51:48	21/02/2023 15:53:15	00:01:27
Not fixed	**21/02/2023 15:53:15**	**21/02/2023 15:53:16**	**00:00:01**
Fixed	21/02/2023 15:53:16	22/03/2023 15:54:01	00:00:45
Not fixed	**21/02/2023 15:54:01**	**21/02/2023 15:54:10**	**00:00:09**
Fixed	21/02/2023 15:54:10	21/02/2023 15:54:13	00:00:03
Not fixed	**21/02/2023 15:54:13**	**21/02/2023 15:54:14**	**00:00:01**
Fixed	22/03/2023 15:54:14	21/02/2023 15:54:15	00:00:01
Not fixed	**21/02/2023 15:54:15**	**21/02/2023 15:54:18**	**00:00:03**
Fixed	21/02/2023 15:54:18	21/02/2023 15:54:32	00:00:14
Not fixed	**21/02/2023 15:54:32**	**21/02/2023 15:54:48**	**00:00:16**
Fixed	21/02/2023 15:54:48	21/02/2023 15:56:06	00:01:18
Not fixed	**21/02/2023 15:56:06**	**21/02/2023 15:56:16**	**00:00:10**
Fixed	21/02/2023 15:56:16	21/02/2023 15:56:44	00:00:28
Not fixed	**21/02/2023 15:56:44**	**21/02/2023 15:56:54**	**00:00:10**
Fixed	21/02/2023 15:56:54	21/02/2023 16:02:44	00:05:50

Anexo F: Especificaciones Técnicas - PHANTOM 4 PRO

Especificaciones

Aeronave	
Peso (batería y hélices incluidas)	1388 g
Tamaño diagonal (sin incluir hélices)	350 mm
Velocidad de ascenso máx.	Modo Sport: 6 m/s (19,7 pies/s); Modo GPS: 5 m/s (16,4 pies/s)
Velocidad de descenso máx.	Modo Sport: 4 m/s (13,1 pies/s); Modo GPS: 3 m/s (9,8 pies/s)
Velocidad máxima	72 km/h (45 mph) (modo S); 58 km/h (36 mph) (modo A); 50 km/h (31 mph) (modo P)
Ángulo de inclinación máximo	42° (modo Sport); 35° (modo Attitude); 25° (modo GPS)
Velocidad angular máxima	250°/s (modo Sport); 150°/s (modo Attitude)
Altitud de vuelo máx. por encima del nivel del mar	6000 m (19 685 pies)
Resistencia máx. al viento	10 m/s (32,8 pies/s)
Tiempo de vuelo máx.	30 minutos aprox.
Intervalo de temperaturas de funcionamiento	de 0 a 40 °C (de 32 a 104 °F)
Sistemas de posicionamiento por satélite	GPS/GLONASS
Precisión de vuelo estacionario	Vertical: ±0,1 m (con Posicionamiento visual); ±0,5 m (con posicionamiento por GPS) Horizontal: ±0,3 m (con posicionamiento visual); ±1,5 m (con posicionamiento por GPS)
Estabilizador	
Estabilización	3 ejes (cabeceo, alabeo, guiñada)
Intervalo controlable	Inclinación: - 90° a + 30°
Velocidad angular máxima controlable	Inclinación: 90°/s
Precisión de control angular	±0,02°
Sistema de visión	
Intervalo de velocidad	≤50 km/h (31 mph) a 2 m (6,6 pies) sobre el suelo
Intervalo de altitud	de 0 a 10 m (de 0 a 33 pies)
Intervalo de funcionamiento	de 0 a 10 m (de 0 a 33 pies)
Rango de detección de obstáculos	de 0,7 a 30 m (de 2 a 98 pies)
Campo de visión (FOV)	Frontal/Trasero: 60° (horizontal), ±27° (vertical) Inferior: 70° (de frente y hacia atrás), 50° (a izquierda y derecha)
Frecuencia de medición	Frontal/Trasero: 10 Hz Inferior: 20 Hz
Entorno de funcionamiento	Superficie con patrón claro e iluminación adecuada (lux > 15)
Sistema de detección por infrarrojos	
Rango de detección de obstáculos	0,2 - 7 m (0,6 - 23 pies)
Campo de visión (FOV)	70°(horizontal), ±10°(vertical)
Frecuencia de medición	10 Hz
Entorno de funcionamiento	Superficies con materiales de reflexión difusa y reflectividad > 8 % (como muros, árboles, personas, etc.)

Cámara	
Sensor	CMOS de 1"; píxeles efectivos: 20 M
Objetivo	FOV (campo de visión) 84°, 8,8 mm (equivalente a formato de 35 mm: 24 mm), f/2.8 - f/11, enfoque automático a 1 m - ∞
Intervalo de ISO	Vídeo: 100 - 3200 (Auto); 100 - 6400 (Manual) Foto: 100 - 3200 (Auto); 100 - 12800 (Manual)
Obturador mecánico	8 - 1/2000 s
Obturador electrónico	8 - 1/8000 s
Tamaño de imagen	Relación de aspecto 3:2: 5472×3648 Relación de aspecto 4:3: 4864×3648 Relación de aspecto 16:9: 5472×3078
Tamaño de imagen PIV	4096×2160 (4096×2160 24/25/30/48/50p) 3840×2160 (3840×2160 24/25/30/48/50/60p) 2720×1530 (2720×1530 24/25/30/48/50/60p) 1920×1080 (1920×1080 24/25/30/48/50/60/120p) 1280×720 (1280×720 24/25/30/48/50/60/120p)
Modos de fotografía	Un disparo Disparo en ráfagas: 3/5/7/10/14 fotogramas Horquilla de exposición automática (AEB): 3/5 fotogramas en horquilla de exposición a 0.7EV Bias Intervalo: 2/3/5/7/10/15/20/30/60 s
Modos de grabación de vídeo	H.265 • C4K: 4096×2160 24/25/30p a 100 Mbps • 4K: 3840×2160 24/25/30p a 100 Mbps • 2,7K: 2720×1530 24/25/30p a 65 Mbps 2720×1530 48/50/60p a 80 Mbps • FHD: 1920×1080 24/25/30p a 50 Mbps 1920×1080 48/50/60p a 65 Mbps 1920×1080 120p a 100 Mbps • HD: 1280×720 24/25/30p a 25 Mbps 1280×720 48/50/60p a 35 Mbps 1280×720 120p a 60 Mbps H.264 • C4K: 4096×2160 24/25/30/48/50/60p a 100 Mbps • 4K: 3840×2160 24/25/30/48/50/60p a 100 Mbps • 2,7K: 2720×1530 24/25/30p a 80 Mbps 2720×1530 48/50/60p a 100 Mbps • FHD: 1920×1080 24/25/30p a 60 Mbps 1920×1080 48/50/60p a 80 Mbps 1920×1080 120p a 100 Mbps • HD: 1280×720 24/25/30p a 30 Mbps 1280×720 48/50/60p a 45 Mbps 1280×720 120p a 60 Mbps
Tasa de bits de vídeo máx.	100 Mbps
Sistemas de archivo admitidos	FAT32 (≤ 32 GB); exFAT (> 32 GB)
Fotografía	JPEG, DNG (RAW), JPEG + DNG
Vídeo	MP4/MOV (AVC/H.264; HEVC/H.265)
Tarjetas SD admitidas	MicroSD, Capacidad máxima: 128 GB. Velocidad de escritura ≥15 MB/s; se necesita clasificación clase 10 o UHS-1
Intervalo de temperatura de funcionamiento	de 0 a 40 °C (de 32 a 104 °F)

Control remoto	
Frecuencia de funcionamiento	2,400 - 2,483 GHz y 5,725 - 5,825 GHz
Distancia de transmisión máx.	2,400 - 2,483 GHz (sin obstáculos, libre de interferencias) FCC: 7 km (4,3 mi); CE: 3,5 km (2,2 mi); SRRC: 4 km (2,5 mi) 5,725 - 5,825 GHz (sin obstáculos, libre de interferencias) FCC: 7 km (4,3 mi); CE: 2 km (1,2 mi); SRRC: 5 km (3,1 mi)
Temperatura de funcionamiento	de 0 a 40 °C (de 32 a 104 °F)
Batería	6000 mAh LiPo 2S
Potencia de transmisión (EIRP)	2,400 - 2,483 GHz: FCC: 26 dBm; CE: 17 dBm; SRRC: 20 dBm 5,725 - 5,825 GHz: FCC: 28 dBm; CE: 14 dBm; SRRC: 20 dBm
Corriente de funcionamiento	1,2 A a 7,4 V
Puerto de salida de vídeo	GL300E: HDMI GL300F: USB
Soporte para dispositivo móvil	GL300E: Dispositivo de visualización integrado (pantalla de 5,5 pulgadas, 1920×1080, 1000 cd/m², sistema Android, 4G RAM+16G ROM) GL300F: Tabletas y teléfonos inteligentes
Cargador*	
Voltaje	17,5 V
Potencia nominal	100 W
Batería de Vuelo Inteligente (PH4-5870mAh-15.2V)*	
Capacidad	5870 mAh
Voltaje	15,2 V
Tipo de batería	LiPo 4S
Energía	89,2 Wh
Peso neto	468 g
Temperatura de carga	De 5 a 40 °C (de 41 a 104 °F)
Potencia de carga máx.	100 W

* Las Baterías de Vuelo Inteligente y los cargadores de la serie Phantom 4 pueden utilizarse indistintamente.

Actualización del firmware

Utilice DJI Assistant 2 o la aplicación DJI GO 4 para actualizar la aeronave y el control remoto.

Actualización del firmware de la aeronave

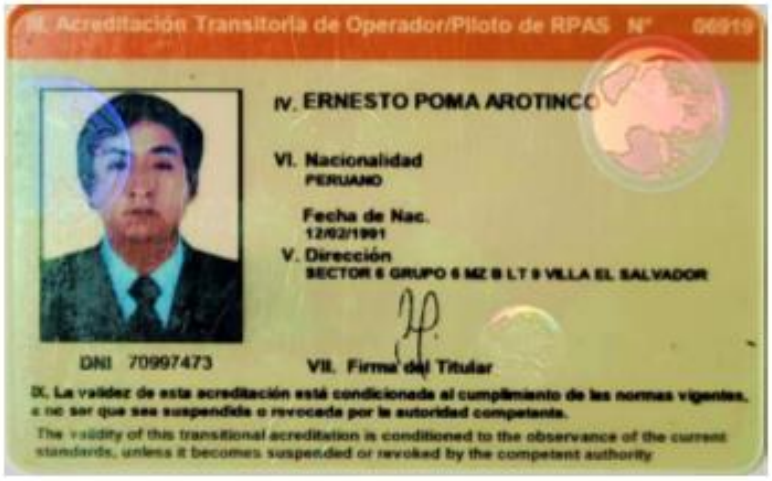
Método 1: Uso de DJI Assistant 2

1. Encienda la aeronave y conéctela al ordenador con un cable USB.
2. Abra DJI Assistant 2 e inicie sesión con sus datos de cuenta DJI.
3. Seleccione "Phantom 4 Pro/Pro+" y haga clic en "Firmware Upgrade" a la izquierda.
4. Seleccione la versión de firmware necesaria.
5. DJI Assistant 2 descargará e instalará la actualización del firmware automáticamente.
6. Una vez finalizada la actualización de firmware, reinicie la aeronave.

Anexo G: CHECK LIST de plan de vuelo

PLANIFICACIÓN DE VUELO EN CAMPO	
Confirmar las condiciones climáticas	X
Confirmar los planes de vuelo	X
Revisar los obstáculos de la zona de vuelo	X
Confirmar la altura máxima de vuelo	X
Confirmar condiciones electromagnéticas	X
Revisar puntos apoyo fotogramétrico	X
Reajustar el plan de vuelo	X
PRE VUELO	
Confirmar punto de despegue y aterrizaje	X
Confirmar las condiciones climáticas	X
Confirmar el plan de vuelo	X
Confirmar la calibración del equipo	X
Confirmar las baterías	X
Confirmar la señal del RPAS	X
Revisar obstáculos	X
DURANTE EL VUELO	
Confirmar estabilidad durante la prueba	X
Inicio de vuelo	X
Confirmar telemetría durante el vuelo	X
Confirmar cámara en vivo	X
Confirmar que se cumpla el plan de vuelo	X
Confirmar retorno y descenso del RPAS	X
Confirmar condiciones técnicas del equipo	X

ANEXO H: Licencia Piloto RPAS



Anexo I: Ortofoto del Área de Investigación

Anexo J: Procesamiento de Imágenes Nativas - AGISOFT

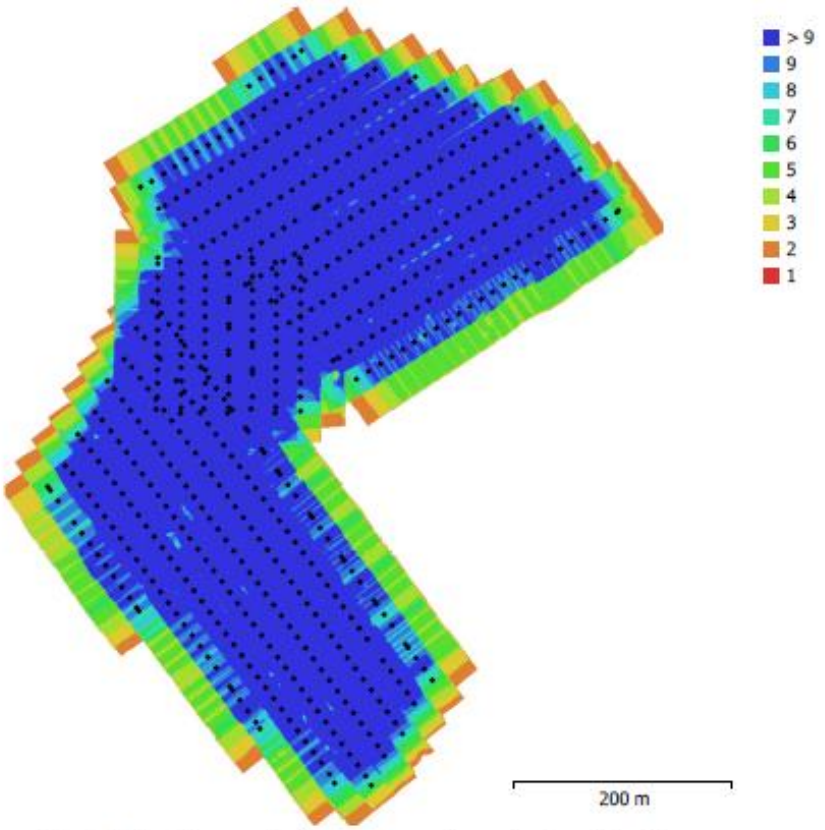


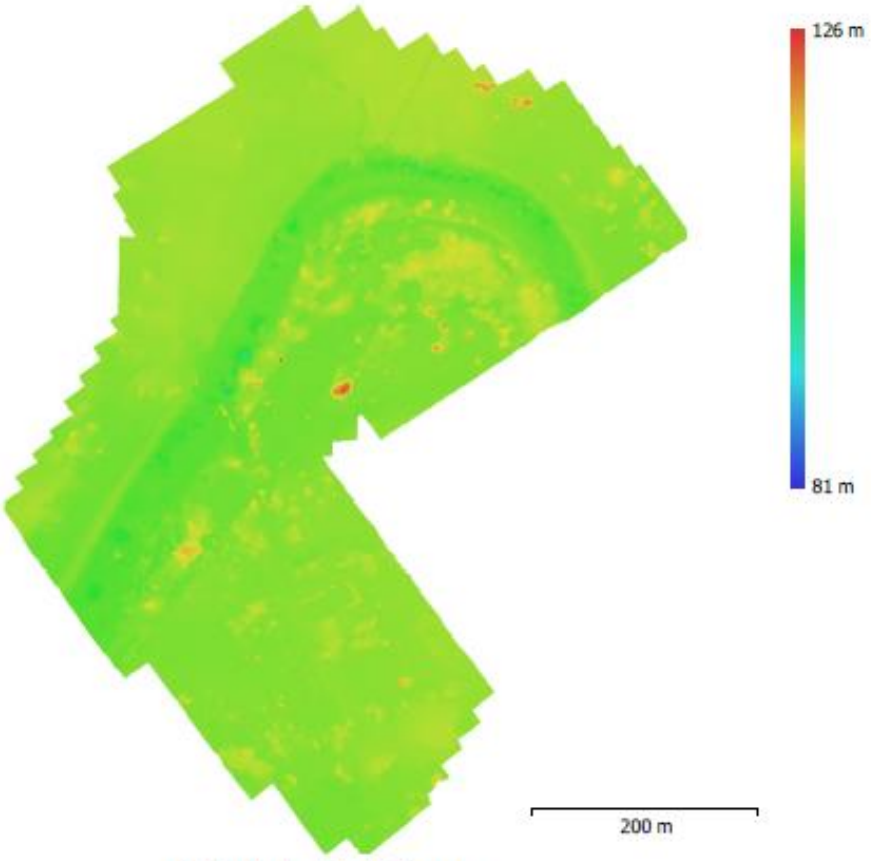
Fig. 1. Posiciones de cámaras y solapamiento de imágenes.

Número de imágenes:	609	Imágenes alineadas:	607
Altitud media de vuelo:	59.5 m	Puntos de paso:	577,559
Resolución en terreno:	1.57 cm/pix	Proyecciones:	2,091,806
Área cubierta:	0.232 km^2	Error de reproyección:	0.799 pix

Anexo K: Puntos De Apoyo Fotogramétrico (PAF) - AGISOFT

Posiciones de puntos de apoyo y estimaciones de errores.
El color indica el error en Z mientras el tamaño y forma de la elipse representan el error en XY.
Las posiciones estimadas de puntos de apoyo se marcan con puntos o cruces.

Anexo L: Modelo Digital De Terreno (MDT)



Modelo digital de terreno.

Resolución:	2.13 cm/pix
Densidad de puntos:	0.102 puntos/cm^2

Anexo M: Parámetros de Procesamiento De Imágenes

Generales	
Cámaras	609
Cámaras orientadas	607
Marcadores	7
Sistema de coordenadas	WGS 84 / UTM zone 17S (EPSG::32717)
Ángulo de rotación	Guiñada, cabeceo, alabeo
Puntos de paso	
Puntos	577,559 de 623,303
RMS error de reproyección	0.174554 (0.798574 pix)
Error de reproyección máximo	2.5466 (49.282 pix)
Tamaño promedio de puntos característicos	3.28142 pix
Colores de puntos	3 bandas, uint8
Puntos clave	No
Multiplicidad media de puntos de paso	3.76101
Parámetros de orientación	
Precisión	Alta
Preselección genérica	Sí
Preselección de referencia	Origen
Puntos clave por foto	40,000
Límite de puntos clave por megapixel	1,000
Puntos de paso por foto	4,000
Excluir puntos de paso inmóviles	Sí
Emparejamiento guiado	No
Ajuste adaptativo del modelo de cámara	No
Tiempo búsqueda de emparejamientos	5 minutos 36 segundos
Uso de memoria durante el emparejamiento	601.59 MB
Tiempo de orientación	5 minutos 20 segundos
Uso de memoria durante el alineamiento	290.74 MB
Parámetros de optimización	
Parámetros	f, b1, b2, cx, cy, k1-k4, p1, p2
Ajuste adaptativo del modelo de cámara	Sí
Tiempo de optimización	16 segundos
Fecha de creación	2024:02:04 09:21:52
Versión del programa	2.0.1.15925
Tamaño de archivo	50.85 MB
Mapas de profundidad	
Número	607
Parámetros de obtención de mapas de profundidad	
Calidad	Alta
Modo de filtrado	Leve
Límite máximo de redundancias	16
Tiempo de procesamiento	59 minutos 29 segundos
Uso de memoria	5.90 GB
Fecha de creación	2023:02:23 10:53:17
Versión del programa	2.0.1.15925
Tamaño de archivo	3.47 GB
Nube de puntos	
Puntos	313,664,857
Atributos de los puntos	
Posición	7.83 mm

Color	3 bandas, uint8
Normal	
Confianza	
Clases de puntos	
Terreno	99,436,604
Vegetación alta	131,283,903
Edificio	27,556,149
Firme de la carretera	45,363,100
Vehículo	6,699,416
Objetos hechos por el hombre	3,325,685
Parámetros de obtención de mapas de profundidad	
Calidad	Alta
Modo de filtrado	Leve
Límite máximo de redundancias	16
Tiempo de procesamiento	59 minutos 29 segundos
Uso de memoria	5.90 GB
Parámetros de generación de la nube de puntos	
Tiempo de procesamiento	1 hora 5 minutos
Uso de memoria	8.08 GB
Parámetros de clasificación de puntos	
Confianza	0
Tiempo de clasificación	53 minutos 37 segundos
Uso de memoria durante la clasificación	17.26 GB
Fecha de creación	2023:02:23 11:58:43
Versión del programa	2.0.1.15925
Tamaño de archivo	4.41 GB
Modelo de teselas	
Textura	3 bandas, uint8
Parámetros de obtención de mapas de profundidad	
Calidad	Alta
Modo de filtrado	Leve
Límite máximo de redundancias	16
Tiempo de procesamiento	59 minutos 29 segundos
Uso de memoria	5.90 GB
Parámetros de reconstrucción	
Origen de datos	Nube de puntos
Tamaño de tesela	256
Número de caras	Media
Habilitar el filtro de efecto fantasma	No
Tiempo de procesamiento	4 horas 15 minutos
Uso de memoria	18.55 GB
Fecha de creación	2023:02:23 16:55:21
Versión del programa	2.0.1.15925
Tamaño de archivo	44.99 MB
MDT	
Tamaño	19,340 x 23,995
Sistema de coordenadas	WGS 84 / UTM zone 17S (EPSG::32717)
Parámetros de reconstrucción	
Origen de datos	Nube de puntos
Interpolación	Habilitada
Tiempo de procesamiento	5 minutos 25 segundos
Uso de memoria	302.99 MB
Fecha de creación	2024:02:05 17:04:58
Versión del programa	2.0.1.15925
Tamaño de archivo	923.84 MB
Ortomosaico	

Tamaño	38,679 x 47,989
Sistema de coordenadas	WGS 84 / UTM zone 17S (EPSG::32717)
Colores	3 bandas, uint8
Parámetros de reconstrucción	
Modo de mezcla	Mosaico
Superficie	MDE
Permitir el cierre de agujeros	Sí
Habilitar el filtro de efecto fantasma	No
Tiempo de procesamiento	25 minutos 55 segundos
Uso de memoria	1.76 GB
Fecha de creación	2023:02:23 17:21:11
Versión del programa	2.0.1.15925
Tamaño de archivo	15.17 GB
Sistema	
Nombre del programa	Agisoft Metashape Professional
Versión del programa	2.0.1 build 15925
OS	Windows 64 bit
RAM	31.94 GB
CPU	AMD Ryzen 5 3600 6-Core Processor
GPU(s)	Radeon RX 580 Series (Ellesmere) Radeon RX 580 Series (Ellesmere)

Anexo N: Planos

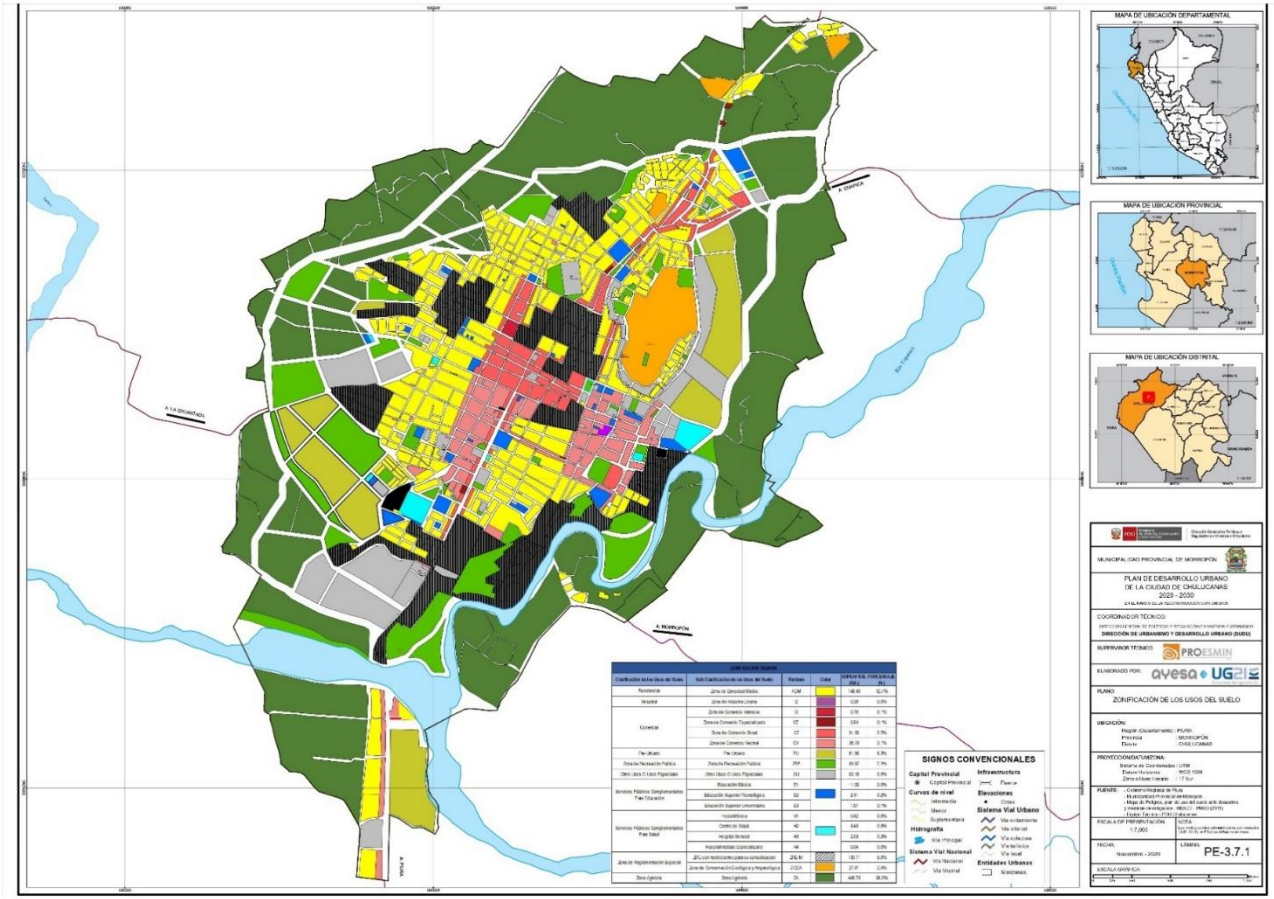


Figura M. 1 Plano de desarrollo Urbano de la Ciudad de Chulucanas

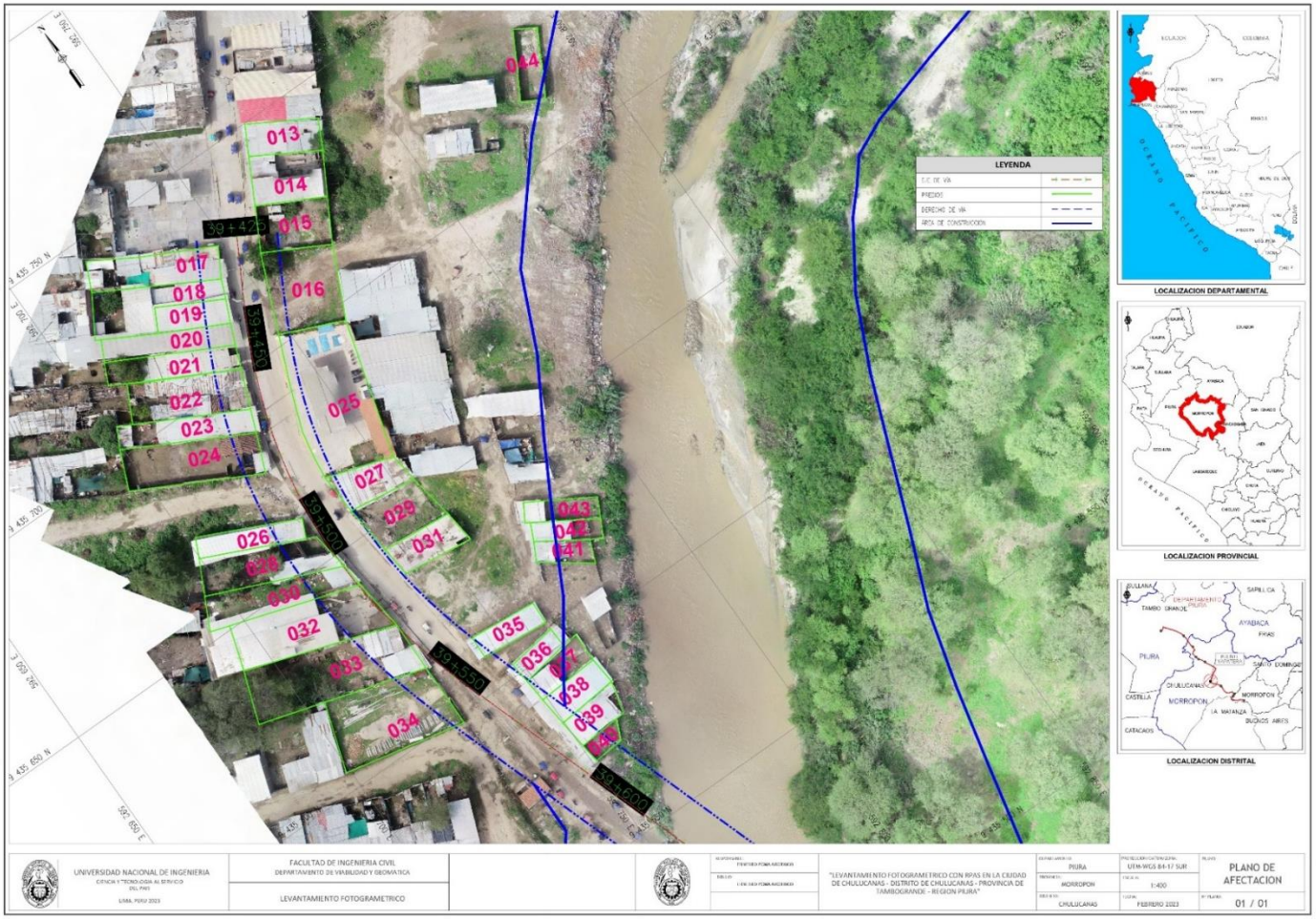


Figura M. 2 Plano de los Predios afectados por el derecho de vía