

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

“COMPARACIÓN DE LA PRECISIÓN DE UN LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO UTILIZANDO DRONE PHANTOM 4 PRO Y ESTACIÓN TOTAL LEICA TS06 PLUS 5” EN LA MICROREPRESA SENDAMAL, DISTRITO DE HUAZMIN-PROVINCIA DE CELENDÍN- CAJAMARCA”.

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

AUTOR:

BACH. ERICK JAVIER, RUBIO BRICEÑO

ASESOR:

ING. ALEJANDRO CUBAS BECERRA

CAJAMARCA – PERÚ

2025

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

- FACULTAD DE INGENIERÍA -

- Investigador:** ERICK JAVIER, RUBIO BRICEÑO
DNI: 45658631
Escuela Profesional: Ingeniería Civil
- Asesor:** M.T Alejandro Cubas Becerra
Facultad: Ingeniería
- Grado académico o título profesional**
 Bachiller Título profesional Segunda especialidad
 Maestro Doctor
- Tipo de Investigación:**
 Tesis Trabajo de investigación Trabajo de suficiencia profesional
 Trabajo académico
- Título de Trabajo de Investigación:**
"“COMPARACIÓN DE LA PRECISIÓN DE UN LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO UTILIZANDO DRONE PHANTOM 4 PRO Y ESTACIÓN TOTAL LEICA TS06 PLUS 5” EN LA MICROREPRESA SENDAMAL, DISTRITO DE HUAZMIN - PROVINCIA DE CELENDÍN- CAJAMARCA”
"Fecha de evaluación: 20/1/2025
- Software antiplagio:** TURNITIN URKUND (OURIGINAL) (*)
- Porcentaje de Informe de Similitud:** 22%
- Código Documento:** :oid:::3117:422211580
- Resultado de la Evaluación de Similitud:** 22%
- 10. :**
 APROBADO PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión : 29/01/2025



FIRMA DEL ASESOR

Alejandro Cubas Becerra

DNI: 26623287



Firmado digitalmente por:
BAZAN DIAZ Laura Sofia
FAU 20148258601 soft

Motivo: En señal de
conformidad

Fecha: 29/01/2025 18:57:08-0500

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI



ACTA DE SUSTENTACIÓN PÚBLICA DE TESIS.

TITULO : "COMPARACIÓN DE LA PRECISIÓN DE UN LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO UTILIZANDO DRONE PHANTOM 4 PRO Y ESTACIÓN TOTAL LEICA TS06 PLUS 5" EN LA MICROREPRESA SENDAMAL, DISTRITO DE HUAZMIN - PROVINCIA DE CELENDÍN - CAJAMARCA"

ASESOR : M. en T. Ing. Alejandro Cubas Becerra.

En la ciudad de Cajamarca, dando cumplimiento a lo dispuesto por el Oficio Múltiple N° 0107-2025-PUB-SA-FI-UNC, de fecha 03 de febrero de 2025, de la Secretaría Académica de la Facultad de Ingeniería, a los **seis días del mes de febrero de 2025**, siendo las nueve horas (09:00 a.m.) en la Sala de Audiovisuales (Edificio 1A - Segundo Piso), de la Facultad de Ingeniería, se reunieron los Señores Miembros del Jurado Evaluador:

- Presidente : M. en I. Ing. José Benjamín Torres Tafur.
- Vocal : M.Cs. Ing. Sergio Manuel Huamán Sangay.
- Secretario : Ing. William Próspero Quiroz Gonzales.

Para proceder a escuchar y evaluar la sustentación pública de la tesis titulada: "COMPARACIÓN DE LA PRECISIÓN DE UN LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO UTILIZANDO DRONE PHANTOM 4 PRO Y ESTACIÓN TOTAL LEICA TS06 PLUS 5" EN LA MICROREPRESA SENDAMAL, DISTRITO DE HUAZMIN - PROVINCIA DE CELENDÍN - CAJAMARCA", presentado por el Bachiller en Ingeniería Civil **ERICK JAVIER RUBIO BRICEÑO**, asesorado por el M. en T. Ing. Alejandro Cubas Becerra, para la obtención del Título Profesional.

Los Señores Miembros del Jurado replicaron al sustentante debatieron entre sí en forma libre y reservada y lo evaluaron de la siguiente manera:

EVALUACIÓN PRIVADA :⁰⁷..... PTS.
 EVALUACIÓN PÚBLICA :¹¹..... PTS.
 EVALUACIÓN FINAL :¹⁸..... PTS. ^{Dieciocho} (En letras)

En consecuencia, se lo declara ^{APROBADO} con el calificativo de ^{Dieciocho (18)} acto seguido, el presidente del jurado hizo saber el resultado de la sustentación, levantándose la presente a las ^{10:00} horas del mismo día, con lo cual se dio por terminado el acto, para constancia se firmó por quintuplicado.


 M. en I. Ing. José Benjamín Torres Tafur.
 Presidente


 M.Cs. Ing. Sergio Manuel Huamán Sangay.
 Vocal


 Ing. William Próspero Quiroz Gonzales.
 Secretario


 M. en T. Ing. Alejandro Cubas Becerra.
 Asesor

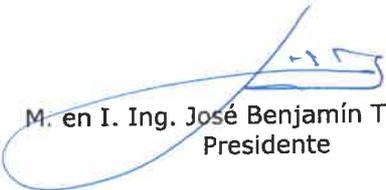


EVALUACIÓN DE LA SUSTENTACIÓN PÚBLICA DE TESIS.

Bachiller en Ingeniería Civil: *ERICK JAVIER RUBIO BRICEÑO.*

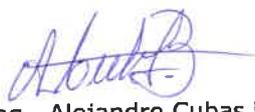
RUBRO	PUNTAJE
	Máximo/Calificación
1. DE LA SUSTENTACIÓN PÚBLICA	
1.1. Capacidad de síntesis	03
1.2. Dominio del tema	03
1.3. Consistencia de las alternativas presentadas	03
1.4. Precisión y seguridad en las respuestas	02
PUNTAJE TOTAL (MÁXIMO 12 PUNTOS)	11

Cajamarca, 06 de febrero de 2025


M. en I. Ing. José Benjamín Torres Tafur.
Presidente


M.Cs. Ing. Sergio Manuel Huamán Sangay.
Vocal


Ing. William Próspero Quiroz Gonzales.
Secretario


M. en T. Ing. Alejandro Cubas Becerra.
Asesor

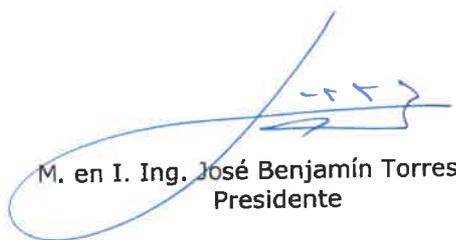


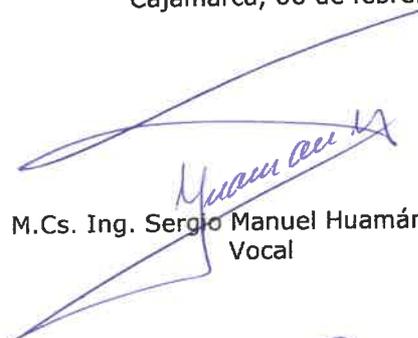
EVALUACIÓN FINAL DE LA SUSTENTACIÓN DE TESIS.

Bachiller en Ingeniería Civil: *ERICK JAVIER RUBIO BRICEÑO.*

RUBRO	PUNTAJE
A.- EVALUACIÓN DE LA SUSTENTACIÓN PRIVADA	07
B.- EVALUACIÓN DE LA SUSTENTACIÓN PÚBLICA	11
EVALUACIÓN FINAL	
EN NÚMEROS (A + B)	18
EN LETRAS (A + B)	DIECIOCHO
- Excelente 20 - 19	MUY BUENO
- Muy Bueno 18 - 17	
- Bueno 16 - 14	
- Regular 13 a 11	
- Desaprobado 10 a menos	

Cajamarca, 06 de febrero de 2025


M. en I. Ing. José Benjamín Torres Tafur.
Presidente


M.Cs. Ing. Sergio Manuel Huamán Sangay.
Vocal


Ing. William Próspero Quiroz Gonzales.
Secretario


M. en T. Ing. Alejandro Cubas Becerra.
Asesor

COPYRIGHT © 2025 by
ERICK JAVIER RUBIO BRICEÑO
Todos los derechos Reservados

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por brindarme siempre la fortaleza de seguir adelante a pesar de las adversidades y los problemas que se presentan en la vida.

A mis padres que siempre estuvieron a mi lado con todo su apoyo, consejos y amor en especial a mi madre Teresa que es mi motivo e inspiración de seguir adelante todos los días.

A mi asesor M.T. Ing. Alejandro Cubas Becerra por su orientación en cada etapa del desarrollo de mi investigación.

A mi gran amor, mi esposa Aileen que es mi razón de vivir cada día y que sin su valioso e incondicional apoyo no hubiera sido posible alcanzar este sueño y a Keyla por su soporte y contribución en esta tesis.

DEDICATORIA

A mi familia, porque me compartieron sus deseos de superación y al mismo tiempo me enseñaron que nada es imposible cuando uno se lo propone.

A mi esposa la Ing. Aileen Sánchez que fue mi soporte emocional y profesional a lo largo de este gran reto, ella es el regalo más hermoso que Dios me pudo haber obsequiado.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO	iii
DEDICATORIA	iv
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	x
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.2.1. Contextualización	2
1.2.2. Descripción del problema	3
1.2.3. Formulación del problema	3
1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.4. ALCANCES O DELIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	4
1.4.1. Alcances.....	4
1.4.2. Delimitación.....	4
1.5. LIMITACIONES.....	4
1.6. OBJETIVOS.....	5
1.6.1. Objetivo general.....	5
1.6.2. Objetivos específicos	5
1.7. HIPÓTESIS GENERAL.....	5
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	6
2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS	6
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	6
2.1.2. Antecedentes nacionales	8
2.1.3. Antecedentes locales	8

2.2. BASES TEÓRICAS.....	9
2.2.1. Topografía:.....	9
2.2.2. Puntos de control	10
2.2.3. Levantamientos topográficos:.....	10
2.2.4. Estación total:.....	14
2.2.5. Sistema de posicionamiento global (GPS).....	15
2.2.6. GPS diferencial	16
2.2.7. Fotogrametría.....	17
2.2.8. Levantamiento fotogramétrico	18
2.2.9. Drone	19
2.2.10. Plan de vuelo fotogramétrico con drone	24
2.2.11. Procesamiento del vuelo	32
2.2.12. Productos fotogramétricos.....	33
2.2.13. Proceso electrónico de información de campo	36
2.2.14. Prueba T- Student	38
2.2.15. Teoría de errores.....	38
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	39
2.3.1. Microrepresa.....	39
2.3.2. Estación Leica TS06 Plus 5”	40
2.3.3. Drone Phantom 4 Pro	40
2.3.4. Sistema de coordenadas	40
2.3.5. Precisión.....	40
2.3.6. Error.....	40
CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS	41
3.1. Ubicación política.....	41
3.2. Ubicación geográfica del área de estudio	41
3.3. Recursos, equipos y herramientas utilizados en la investigación.	42
3.3.1. Equipos y herramientas	42

3.3.2. Materiales	43
3.3.3. Softwares informáticos.....	43
3.4. Desarrollo de la Metodología a Seguir en el Desarrollo del Trabajo de Investigación.....	43
3.4.1. Tipo, nivel, diseño y método de la investigación.....	43
3.4.2. Población y muestra de estudio	43
3.4.2.1. Población.....	43
3.4.2.2. Muestra	44
3.4.3. Técnicas e instrumentos para recolectar datos en campo.....	44
3.5. Procedimiento de la investigación.....	44
3.5.1. Reconocimiento de la zona de estudio.....	45
3.5.2. Georreferenciación:.....	47
3.5.3. Levantamiento topográfico con dron:	52
3.5.3.1. Plan de vuelo:.....	53
3.5.3.2. Puntos topográficos:.....	56
3.5.3.3. Toma de fotografías:	57
3.4.4. Levantamiento topográfico con estación total:.....	59
3.4.5. Procesamiento de datos:.....	61
3.4.6. Cálculo de coordenadas corregidas obtenidas del dron:	67
3.4.7. Cálculo de coordenadas corregidas obtenidas de la estación total:.....	69
CAPITULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	73
4.1 Análisis para la variable precisión del levantamiento topográfico:	73
4.2 Análisis de la Variable X, Y y Z	73
4.3 Contrastación de hipótesis.....	76
CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	85
5.1. Conclusiones.	85
5.2. Recomendaciones.	86
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	87

ANEXOS	91
Anexo 01. Reporte de calidad	92
Anexo 02. Plano de Ubicación	101
Anexo 03. Plano topográfico- fotogrametría.....	103
Anexo 04. Plano topográfico- estación total.....	106
Anexo 05. Planos topográficos comparativo drone - estación total	108

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: <i>Métodos de planimetría.</i>	12
Tabla 2: <i>Ubicación política</i>	41
Tabla 3: <i>Coordenadas UTM del Proyecto de Investigación</i>	41
Tabla 4: <i>Coordenadas Geográficas del Proyecto de Investigación</i>	41
Tabla 5: <i>Datos de BM's para Estación Leica TS06 Plus 5"</i>	47
Tabla 6: <i>Puntos de fotocontrol para Phantom 4 Pro</i>	48
Tabla 7: <i>Puntos de Fotocontrol obtenidos con Trimble R8</i>	58
Tabla 8: <i>Errores obtenidos del Reporte de Calidad Pix4Dmapper</i>	59
Tabla 9: <i>Errores de Pix4Dmapper</i>	68
Tabla 10: <i>Puntos de Dron Phantom 4 Pro corregidos</i>	68
Tabla 11: <i>Puntos de Dron Phantom 4 Pro corregidos</i>	69
Tabla 12: <i>Polígono de Estación Total</i>	70
Tabla 13: <i>Puntos corregidos de Estación Total Leica TS06 Plus 5"</i>	71
Tabla 14: <i>Errores absolutos en x,y,z del levantamiento con Dron Phantom 4 Pro respecto a Puntos de Control Trimble R-8.</i>	74
Tabla 15: <i>Errores absolutos en x,y,z de levantamiento con Estación Total Leica TS06 Plus 5" respecto a Puntos de Control Trimble R-8.</i>	75
Tabla 16: <i>Errores relativos x,y,z de Dron Phantom 4 Pro y Estación Total Leica TS06 Plus 5"</i>	78
Tabla 17: <i>Resumen de Errores Absolutos de la Estación Total Leica TS06 Plus 5" vs Dron Phantom 4 Pro.</i>	79
Tabla 18: <i>Análisis de Precios Unitarios del levantamiento con Dron</i>	82
Tabla 19: <i>Análisis de Precios Unitarios del levantamiento con Estación Total</i>	82
Tabla 20: <i>Rapidez Para El Desarrollo Completo Con Dron.</i>	83
Tabla 21: <i>Rapidez Para El Desarrollo Completo Con Estación Total</i>	84

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: <i>Levantamiento topográfico con triangulación.</i>	13
Figura 2: <i>Levantamiento con poligonal cerrada.</i>	14
Figura 3: <i>Levantamiento con poligonal abierta.</i>	14
Figura 4: <i>Partes de una estación total.</i>	15
Figura 5: <i>Partes de un GPS diferencial.</i>	17
Figura 6: <i>Fotogrametría de una parcela.</i>	18
Figura 7: <i>Levantamiento fotogramétrico con dron.</i>	19
Figura 8: <i>Partes de un drone.</i>	20
Figura 9: <i>Cámara de dron DJI Panthom 4 Pro.</i>	22
Figura 10: <i>Pixel de una imagen digital.</i>	23
Figura 11: <i>Profundidad de color de una imagen digital.</i>	24
Figura 12: <i>Representación de GSD.</i>	26
Figura 13: <i>Representación de altura de vuelo.</i>	27
Figura 14: <i>Traslape longitudinal y transversal.</i>	28
Figura 15: <i>Número de puntos de control terrestre.</i>	29
Figura 16: <i>Número de puntos.</i>	31
Figura 17: <i>Malla de puntos.</i>	31
Figura 18: <i>Restitución fotogramétrica</i>	32
Figura 19: <i>Proceso de aerotriangulación.</i>	33
Figura 20: <i>Representación de MDT.</i>	34
Figura 21: <i>Representación de MDS.</i>	34
Figura 22: <i>Representación de MDE.</i>	35
Figura 23: <i>Representación de Ortofotografía.</i>	36
Figura 24: <i>Ubicación geográfica del la Microrepresa Sendamal.</i>	42
Figura 25: <i>Flujograma del proceso de investigación.</i>	44

Figura 26: Área de estudio Microrepresa Sendamal 26.79 Has (Carretera Cajamarca – Celendín PE08B – Prog. 72 + 770).....	45
Figura 27: Reconocimiento de la zona de estudio.....	46
Figura 28: Trazado de Puntos de Control.	46
Figura 29: Receptor Geodésico Trimble R8-base.	52
Figura 30: Web de la aplicación Dron Deploy.	54
Figura 31: Identificación de la zona de trabajo – Microrepresa Sendamal.....	54
Figura 32: Perfil longitudinal del plan de vuelo de dron Phantom 4 Pro H=60m.	55
Figura 33: Definición del perímetro y características del vuelo.....	55
Figura 34: Programación de dron para iniciar la fotogrametría.....	56
Figura 35: Gráfica de puntos de control.	56
Figura 36: Toma de imágenes de Plan de Vuelo.	57
Figura 37: Estacionamiento y orientación para iniciar a radiar los puntos.	60
Figura 38: Toma de puntos con estación total Leica TS06 Plus 5”.....	60
Figura 39: Radiación de puntos	61
Figura 40: Creación de proyecto.....	62
Figura 41: Importación de fotografías y definición de parámetros.	62
Figura 42: Modo de procesamiento.....	63
Figura 43: Nube de puntos.....	63
Figura 44: Malla de puntos.....	64
Figura 45: Procesamiento de nube de puntos.....	64
Figura 46: Georeferenciación y reoptimización de Puntos de control.....	65
Figura 47: Procesamiento finalizado	65
Figura 48: Importación a Civil 3D.....	66
Figura 49: Superficie importada en Civil 3D	66
Figura 50: Reporte de calidad Pix4Dmapper	67
Figura 51: Datos Generales de la Superficie Civil 3D Leica TS06 Plus 5”.....	71
Figura 52: Superficie en Civil 3D Leica TS06 Plus 5”.....	72

Figura 53: *Gráfico N°06. Error en Este Phantom 4 Pro vs Leica TS06 Plus 5"* 80

Figura 54: *Gráfico N°07. Error en Norte Phantom 4 Pro vs Leica TS 06 Plus 5"* 80

Figura 55: *Gráfico N°08. Error en Elevación Phantom 4 Pro vs Leica TS06 Plus 5"* .. 81

Figura 56: *Gráfico N°04. Factor costo: Dron Phantom 4 Pro vs Leica TS06 Plus 5"* .. 83

Figura 57: *Gráfico N°05. Factor tiempo: Dron Phantom 4 Pro vs Leica TS06 Plus 5"* 84

RESUMEN

El presente estudio titulado “Comparación de la precisión de un levantamiento topográfico utilizando Drone Phantom 4 Pro y Estación total Leica Ts06 Plus 5” en la Microrepresa Sendamal, Distrito de Huasmín - Provincia de Celendín - Cajamarca”, surge de la problemática de identificar si el uso de la estación total Leica Ts06 Plus 5” o el dron Phantom 4 Pro es más preciso para el uso en topografía, además de otros factores como la optimización de tiempo y costo. El trabajo de investigación tiene como objetivo comparar la precisión entre los levantamientos topográficos utilizando estación total y dron (fotogrametría) en la Microrepresa Sendamal, apoyándonos en puntos de control tomados con GPS Diferencial. Para el desarrollo de la investigación se inició con la toma de datos topográficos y fotogramétricos en campo, luego se realizó el procesamiento en gabinete de la data obtenida utilizando el software Autocad Civil 3D, y complementariamente se ha empleado el software Pix4Dmapper para el procesamiento de la fotogrametría; finalmente, se realizó el análisis estadístico comparativo de los datos procesados para cada caso de lo que se ha obtenido que para la estación los errores medios cuadráticos son de 0.031 m en x, 0.052 m en y, 0.003 m en z; mientras que para el dron son 0.062 m en x, 0.061 m en y, 0.028 m en z, concluyéndose que la estación total Leica TS06 Plus 5” es más precisa que el dron Phantom 4 Pro para efectuar el levantamiento topográfico de la microrepresa Sendamal.

Palabras clave: Drone, Estación Total, Fotogrametría, levantamiento topográfico.

ABSTRACT

The present study entitled "Comparison of the precision of a topographic survey using Drone Phantom 4 Pro and Leica Ts06 Plus 5 Total Station" in the Sendamal Microdam, Huasmín District - Celendín Province - Cajamarca", arises from the problem of identifying whether the use of the Leica Ts06 Plus 5" total station or the Phantom 4 Pro drone is more accurate for use in topography, in addition to other factors such as time and cost optimization. The objective of the research work is to compare the precision between topographic surveys using total station and drone (photogrammetry) in the Sendamal Microdam, relying on control points taken with Differential GPS. For the development of the research, it began with the collection of topographic and photogrammetric data in the field, then the processing of the data obtained was carried out in the office using the Autocad Civil 3D software, and in addition, the Pix4Dmapper software was used for the processing of the photogrammetry; Finally, the comparative statistical analysis of the processed data was carried out for each case, from which it was obtained that for the station the mean square errors are 0.031 m in x, 0.052 m in y, 0.003 m in z; while for the drone they are 0.062 m in x, 0.061 m in y, 0.028 m in z, concluding that the Leica TS06 Plus 5" total station is more precise than the Phantom 4 Pro drone to carry out the topographic survey of the Sendamal microdam.

Keywords: Drone, Total Station, Photogrammetry, topographic survey.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad nos encontramos en el mundo de los avances tecnológicos, esto no es ajeno en la ingeniería civil que, para desarrollar los proyectos de envergadura en sus diferentes etapas, utiliza innovadores procedimientos mediante equipos de última generación como por ejemplo los drones.

En la fase de campo, o al iniciar un proyecto de diversa índole, es necesario conocer la topografía de la zona, que tradicionalmente se determina mediante un levantamiento topográfico con Estación Total u otros equipos similares, con el paso de los años, se ha incorporado el uso de nuevos equipos con características de última tecnología, como es el caso de los Drones en la ingeniería, que permiten realizar levantamientos topográficos (fotogrametría), siendo más accesibles, reduciendo tiempo y costo, que a través de fotos (imágenes) tomadas con los Drones y el procesamiento con software especializados se crean modelos en 3D con curvas de nivel, modelos digital del terreno, modelo digital de elevaciones y ortofotos.

El uso de Drone no es tan común en los proyectos, así como el procesamiento del levantamiento topográfico (fotogrametría), por ello, surge la presente investigación, que consiste en analizar la precisión de un levantamiento topográfico utilizando Drone, debido al poco tiempo que se dispone para ejecutar esta actividad con una Estación Total, durante el estudio de pre inversión denominado “ Construcción de la microrepresa Sendamal, ubicada en el distrito de Huasmín, Provincia de Celendín, región Cajamarca”.

Una vez realizado el levantamiento topográfico de la microrepresa Sendamal con un Drone Phantom 4 Pro, se evalúa, analiza y compara la precisión de la fotogrametría en contraste con la precisión del levantamiento topográfico utilizando Estación Total Leica TS06 Plus 5”, así mismo otros factores como son el tiempo y costo.

1.1.1. DESCRIPCIÓN DE LOS CAPÍTULOS

Capítulo I. En el primer capítulo se presenta la introducción de la investigación, el planteamiento y formulación del problema, la justificación, los alcances o delimitaciones de la investigación, objetivos y la hipótesis.

Capítulo II. En el segundo capítulo se desarrolla los antecedentes y bases teóricas, que son los conceptos sobre topografía, fotogrametría, estación total y dron.

Capítulo III. En este capítulo, se describe las herramientas que utilizamos para desarrollar la investigación, así como la metodología para el procesamiento de la data obtenida en campo con estación total y el dron, para el levantamiento topográfico y fotogramétrico.

Capítulo IV. En este capítulo se realiza el análisis y comparación de la precisión del levantamiento topográfico con Dron versus el levantamiento con Estación Total, mediante la evaluación de los errores obtenidos en x, y y z en el procesamiento del capítulo anterior.

Capítulo V. En el último capítulo se plasman las conclusiones en referencia a los objetivos determinados y se realiza las recomendaciones necesarias.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1. Contextualización

En el mundo actual la tecnología avanza diariamente, esto ha beneficiado a varias ciencias, no siendo ajena la ingeniería, que cuenta con varias áreas siendo una de ellas la topografía que a su vez se encuentra conformada por la agrimensura, cartografía, fotogrametría, geodesia, entre otras, las que son extremadamente necesarias en el modelamiento del terreno, que servirá para el diseño y formulación del universo de proyectos de infraestructura diversos, realizándose el levantamiento de datos de campo con diferentes métodos, tratando de economizarse al máximo los diferentes recursos y sobre todo optimizar tiempo además de presentar un gran detalle de los proyectos tipo escáner, por ello la presente investigación nos servirá para evaluar

la precisión del levantamiento tradicional empleando estación total y la fotogrametría con el uso de drone.

1.2.2. Descripción del problema

La presente investigación se origina debido al avance tecnológico y a la aparición de nuevas herramientas y equipos topográficos donde surgen incógnitas sobre la precisión del levantamiento utilizando Drone (Fotogrametría) para obtener la topografía de la microrepresa de Sendamal, considerando que este comprende un procedimiento de mayor rapidez; sin embargo, no se conoce si el nivel de precisión es igual o similar al obtenido en un levantamiento topográfico empleando Estación Total.

Por ello, se realizó el estudio que consistió en ejecutar un levantamiento topográfico (fotogrametría) utilizando Drone Phantom 4 Pro, teniendo puntos de control tomados con GPS diferencial en la Microrepresa de Sendamal, ubicada en el Distrito de Huasmín, provincia de Celendín, departamento de Cajamarca; de forma paralela se efectuó el levantamiento topográfico con la Estación Total Leica TS06 plus 5", para posteriormente evaluar fundamentalmente la precisión, y comparar los resultados obtenidos para cada caso, lo cual ha permitido determinar la conclusión del problema.

1.2.3. Formulación del problema

De lo anterior descrito, se tiene que el problema de la presente investigación se sintetiza en la siguiente interrogante:

¿El levantamiento topográfico de la microrepresa Sendamal realizado utilizando estación total Leica TS 06 plus 5" es más preciso que el realizado utilizando drone phantom 4 pro?

1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

En la actualidad, con los avances tecnológicos en el campo de la ingeniería se ha presentado la incursión de equipos más sofisticados para la ejecución de los trabajos topográficos, tal y como lo es el uso de drones en los levantamientos topográficos que han permitido la optimización del tiempo/costo; sin embargo, surge la incertidumbre si

estos equipos son lo suficientemente precisos para la obtención de la data topográfica en comparación con un levantamiento convencional empleando estación total.

Es por ello que la presente investigación tiene como fin el aporte metodológico, con base en la evaluación efectuada de la confiabilidad de la estación total Leica TS 06 plus 5" y del drone phantom 4 pro para la ejecución del levantamiento topográfico de una microrepresa mediante la cual se ha comparado la precisión de estos equipos así como los aspectos económicos y de tiempo para cada caso, estableciéndose un referente de las consideraciones a tomar en cuenta para la elección de equipos topográficos (estación total y drone) bajo el contexto y condiciones iguales o similares a las presentadas en la presente investigación.

1.4. ALCANCES O DELIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Alcances

La presente investigación tiene por finalidad comparar el levantamiento fotogramétrico utilizando drone versus el levantamiento topográfico con estación total; lo cual nos permitirá determinar si las mediciones de campo obtenidas con drone son similares al de una estación total; evaluando con cuál de los 02 equipos se obtiene una mejor precisión así también como la rapidez y economía.

1.4.2. Delimitación

La investigación se realizó en el Departamento de Cajamarca, Provincia de Celendín, Distrito de Huasmín, microcuenca Sendamal en la cual se proyecta el emplazamiento de la Microrepresa Sendamal que comprende un área de 26.79 Has, asimismo se indica que se desarrolló la investigación durante el primer trimestre del año 2023.

1.5. LIMITACIONES

Para la realización de la investigación no se tiene ningún tipo de limitación.

1.6. OBJETIVOS

1.6.1. Objetivo general

- ✓ Comparar la precisión de un levantamiento topográfico utilizando drone Phantom 4 pro y estación total Leica TS 06 plus 5" en la microrepresa Sendamal, Distrito de Huasmín- Provincia de Celendín-Cajamarca

1.6.2. Objetivos específicos

- ✓ Realizar el levantamiento topográfico con Drone phantom 4 pro y estación total Leica TS 06 plus 5".
- ✓ Realizar un análisis estadístico-comparativo de los resultados del levantamiento topográfico con ambos equipos para evaluar su precisión y adicionalmente conocer la economía y rapidez.

1.7. HIPÓTESIS GENERAL

El levantamiento topográfico de la microrepresa Sendamal realizado utilizando estación total Leica TS 06 plus 5 es más preciso que el realizado utilizando drone phantom 4 pro.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS

2.1.1. Antecedentes internacionales

Ojeda (2023), en su informe de memoria de título denominada “Estudio comparativo entre la topografía clásica con estación total y la fotogrametría digital mediante vehículos aéreos no tripulados en minería a cielo abierto”, tuvo como objetivo analizar comparativamente si la fotogrametría mediante dron presenta ventajas significativas frente al levantamiento topográfico convencional con una estación total, para lo cual utilizó como data fiable un posicionamiento con diferencial GNSS, para crear puntos base para efectuar la comparación de cada método, concluyendo que las coordenadas que obtuvo mediante fotogrametría fueron más precisas que por topografía, por otra parte, los tiempos requeridos en la determinación final de las coordenadas fueron muy parecidos entre ambos métodos, para un área de trabajo. Los tiempos del método topográfico varían con el número de puntos a determinar, a diferencia de la fotogrametría, la cual no varía, los costos de inversión de la fotogrametría superan a la topografía con estación total, finalmente la fotogrametría es una alternativa rápida y económica para realizar levantamientos topográficos en áreas extensas, con la cual se pueden obtener precisiones geográficas centimétricas, que a escala de la gran minería son casi despreciables, poseen la capacidad de llegar a zonas inaccesibles, no entorpece el proceso productivo, y no pone en riesgo el capital humano.

Casarrubias (2022), en su tesis de la Universidad Nacional Autónoma de México, titulada “Comparativa de precisión fotogramétrica digital en el uso de drones comerciales con base en un levantamiento topográfico de primer orden”, tuvo como objetivo principal conocer las precisiones que arrojan los Drones comerciales comparándolos con un levantamiento topográfico de primer orden y así poder decidir si estos instrumentos pueden ser utilizados en trabajos de alta precisión, para ello utilizó el Drone Phantom 4 Pro de DJI y el Drone AiBotix de Leica Geosystems para el

levantamiento fotogramétrico y para el levantamiento topográfico utilizó una Estación total Sokkia, concluyendo que existen variaciones considerables entre el levantamiento fotogramétrico y el levantamiento topográfico en coordenadas (x,y) y elevación.

Nieto & Becerra (2019), en su trabajo de grado titulado “Elaboración de modelos digitales de terreno por medio de fotogrametría obtenida por tecnología Drone, relacionado con el método convencional, en la intersección de la vía Saboyá Sutamarchán con la ruta 45°, Boyacá-Colombia”, el objeto de este estudio es comparar las diferencias de un alineamiento vial para realizar un Modelo Digital de Terreno (MDT), obteniéndose a partir de fotografías aéreas tomadas por medio de un Vehículo Aéreo no tripulado (VANT) como sus siglas lo indican. En este contexto se debe apreciar la cantidad de variables a considerar al momento de ejecutar estos métodos, dado que la cámara es transportada en un vehículo aéreo, posee incertidumbres extrínsecas que afectan su trabajo, como lo es la climatología, luminosidad, la altura de vuelo, entre otros; que pueden ocasionar errores al momento de recopilar la información, a su vez se debe tener en cuenta la manipulación adecuada de las plataformas de procesamiento de imágenes, ya que también pueden inducir a obtener errores en la obtención de los MDT. Análogamente se pueden obtener estos modelos de forma convencional teniendo como ventaja que los datos son tomados directamente en el terreno y su procesamiento es inmediato, minimizando las variables y a su vez, poseer menor probabilidad de cometer errores, teniendo en cuenta estos factores, se debe realizar una comparación entre los dos métodos anteriormente nombrados, para determinar la confiabilidad y precisión de esta tecnología. Así mismo se analizó cualidades de digitalización de información, además se estudiaron características morfológicas de terreno como los son las diferentes pendientes, zonas boscosas, delimitación de quebradas, vías, casas, para ello se realizó este trabajo en el municipio de Saboyá, puesto que este municipio posee zonas con diferentes características morfológicas, ayudando a tener una gran cantidad de cualidades para poder determinar precisiones.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Bejarano & Palomino (2022) en su tesis denominada “Análisis comparativo del levantamiento fotogramétrico y estación total en el diseño geométrico de la Carretera de evitamiento progresiva 0+000 Al 3+837.26 Km – Otuzco, La Libertad, Perú 2021” , tuvo como objetivo general de comparar las diferentes características como precisión, tiempo, costo entre el uso de una estación total marca Topcon modelo OS105 y un dron Phantom 4 Pro, utilizando un GPS para los puntos de control, en la etapa de campo realizó el levantamiento topográfico, así como el levantamiento fotogramétrico, luego fueron procesadas la data de campo de ambos equipos, para realizar el análisis comparativo en el área de estudio.

Bejarano & Palomino (2022), entre las principales conclusiones obtuvieron que el tiempo de trabajo para el levantamiento topográfico tanto en campo como gabinete le tomó 42.2 horas frente a 24.2 horas del levantamiento fotogramétrico; en costo el levantamiento topográfico representó el 50.35% de costo total del levantamiento con dron, así finalmente indica que el levantamiento topográfico con estación se muestra 98.39% óptimo que el levantamiento con dron.

2.1.3. Antecedentes locales

Marin & Vilela (2022), en su tesis denominada “Análisis de un levantamiento fotogramétrico frente a un levantamiento topográfico entre los kilómetros 96 y 98 del tramo PE-08B de la red vial nacional Cajamarca-Celendín”, para dichos levantamientos se hizo uso de equipos específicos tales como un Dron DJI PHANTOM 4 PRO y una Estación Total TOPCON OS-105, mediante recolección de datos por el método de medición directo en ambos casos, los cuales posteriormente fueron procesados en el software Agisoft Metashape, en donde se obtuvo ortofotos, nube de puntos densa, modelo digital de elevación y posteriormente curvas de nivel. Las que a su vez fueron procesadas en el programa CIVIL 3D, obteniendo así los datos para realizar las comparaciones, luego de analizar los resultados obtenidos se ha podido concluir que el levantamiento fotogramétrico con el Dron DJI PHANTHOM 4 PRO, en cuanto a costo

es 3.26 veces más barato que el levantamiento topográfico con Estación Total; y en cuanto a tiempo de trabajo es un 25% más rápido, sin embargo, el levantamiento con este Dron carece de precisión en cuanto a la elevación de los puntos.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Topografía:

García & Rosique (1994), considera a la topografía como un estudio de los métodos para obtener la representación plana de una parte de la superficie terrestre con todos sus detalles, y de la construcción del conocimiento y del manejo de los instrumentos necesarios para ello.

La topografía desempeña un papel sumamente importante en muchas ramas de la ingeniería, por ejemplo, los levantamientos topográficos son indispensables para planear, construir y mantener carreteras, edificios, puentes, estaciones de rastreo, túneles, canales, entre otros.

2.2.1.1. Mediciones topográficas directa e indirectas:

2.2.1.1.1. Mediciones directas:

Según Jimenez (2007), son medidas tomadas con el metro, generalmente con odómetro, escalón y cinta métrica de 10, 20, 30 o 50 metros, decímetros, centímetros, milímetros. Estas cintas pueden ser de acero, fibra de vidrio o tela. La distancia de una cinta métrica entre dos puntos se obtiene sumando las medidas parciales tomadas para cubrir la distancia entre los dos puntos.

2.2.1.1.2. Mediciones indirectas:

Wolf & Ghilani (2016) indica que una medición indirecta se da si un instrumento no se puede aplicar directamente a la cantidad a medir. La sugerencia se determina entonces por su relación con una o más de otras medidas. La topografía realiza muchas mediciones indirectas, todas las cuales son imprecisas, por lo que es inevitable que las cantidades que calculan también sean inexactas. Un método de combinar el error medido para generar una respuesta que calcula el error de propagación del error.

2.2.2. Puntos de control

Mendoza (2017) indica que el punto de control o punto de campo es el punto en el que se realizan las mediciones lineales y/o angulares. Estos puntos pueden usarse como referencias para determinar la dirección de la alineación. Existen dos tipos de puntos topográficos:

- Punto topográfico fijo: Son puntos de referencia fijos generados antes y en los bordes de los relieves de campo, como balizas, antenas, faros o elementos permanentes y puntos de referencia.
- Punto topográfico temporal: Son puntos creados específicamente para el proyecto y generalmente deberían desaparecer al final del levantamiento. Estos puntos están marcados con clavijas de madera o hierro y deben pintarse para que se puedan encontrar fácilmente. Asimismo, estos puntos deben referirse a estructuras cercanas de ser posible.

2.2.3. Levantamientos topográficos:

Wolf & Ghilani (2016) considera como levantamiento topográfico al proceso de medir, calcular y dibujar para determinar la posición relativa de los puntos que conforman una extensión de tierra, los levantamientos topográficos se realizan con el fin de determinar la configuración del terreno, de elementos naturales o instalaciones construidas por el hombre.

El procedimiento para seguir en los levantamientos topográficos comprende dos etapas fundamentales:

- El trabajo de campo, que es la recopilación de los datos. Esta recopilación fundamentalmente consiste en medir ángulos horizontales y/o verticales y distancias horizontales o verticales.
- El trabajo de gabinete o de oficina, que consiste en el cálculo de las posiciones de los puntos medidos y el dibujo de estos sobre un plano. La mayor parte de los levantamientos, tienen como objeto el cálculo de superficies y volúmenes, así como la representación de las medidas tomadas en el campo mediante

perfiles y planos, por lo cual estos trabajos también se consideran dentro de la topografía.

2.2.3.1. Principales métodos utilizados en topografía:

En topografía, las medidas de superficie se hacen utilizando cuatro métodos principales. La posición de un punto en un plano horizontal se puede determinar por:

- Un método es medir la distancia horizontal y el acimut a lo largo de la línea de puntos desde un punto conocido levantando un polígono.
- Mediante una proyección radial, la distancia horizontal y el acimut o ángulo horizontal desde un punto conocido.
- Desde una línea conocida, método offset para medir la distancia horizontal desplazando y dibujando una perpendicular.
- Método de triangulación involucra, midiendo distancias horizontales y azimuts, o midiendo ángulos horizontales desde dos puntos conocidos por triangulación y / o intersección.
- El método de poligonación, es uno de los procedimientos topográficos más utilizados, consiste en una serie de puntos tomados sobre el terreno en un orden prefijado llamados vértices, se usan para establecer puntos de control en levantamientos topográficos en obras de ingeniería.

La Tabla 1 describe cada uno de estos métodos; sin embargo, para elegir entre ellos, se debe considerar los mejores dispositivos de medición disponibles. Esta Tabla nos ayuda a elegir el mejor método de medición, teniendo en cuenta su equipo y habilidades.

Tabla 1: Métodos de planimetría.

Método	Elementos básicos	Aplicabilidad	Comentarios
Poligonación (abierta, cerrada)	Secciones transversales y estaciones	Terreno plano o boscoso Perfiles longitudinales o cortes transversales Poligonal con brújula, prospección rápida y detalles	Las secciones transversales pueden tener la misma longitud, más de 25 m e idealmente de 40 a 100 m Es necesario hacer comprobaciones por si se han cometido errores
Estaciones radiales, centrales y laterales	Estación de observación	Pequeñas parcelas de terreno Solo para la ubicación de los puntos	Todos los puntos deben ser visibles y a ángulos de más de 15°
Offset	Línea de encadenamiento	Levantamiento de detalles en puntos cercanos a la línea de encadenamiento	La línea de encadenamiento no debería estar a más de 35 m de estos puntos
Triangulación	Línea de base	Grandes parcelas de terreno Terrenos ondulados y abiertos Lugares inaccesibles	A menudo en combinación con levantamiento por poligonales. Requiere una prospección previa detallada. Mejor con ángulos de unos 60°
Poligonales, radial, triangulación		Levantamiento de detalles y prospección en terreno abierto	Método muy útil cuando se adquiere práctica.

Nota: Tomado de Medinilla, 2020.

2.2.3.1.1. Triangulación:

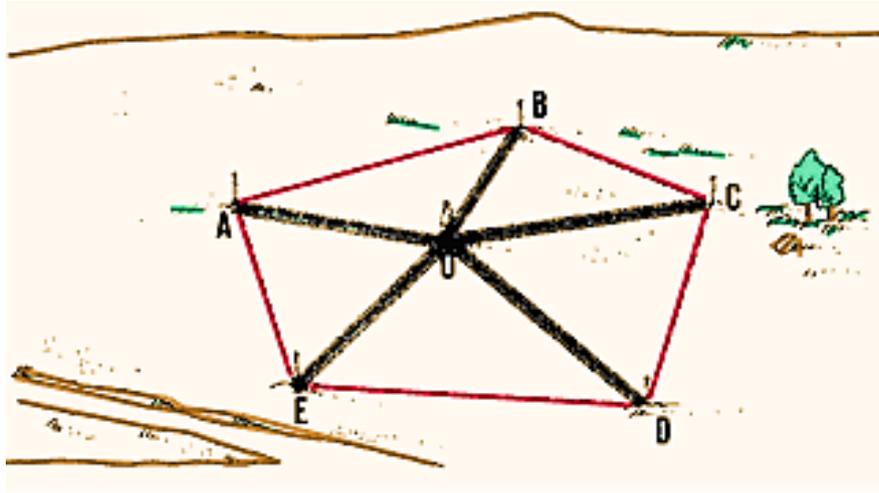
El método de la triangulación consiste en determinar triángulos consecutivos a partir de dos puntos conocidos que son visibles entre sí. El segmento de línea que conecta estos dos puntos se llama línea de base.

La triangulación se puede utilizar de forma eficaz en terrenos donde muchos obstáculos son difíciles de superar, como colinas, pantanos y vegetación montañosa.

Si está midiendo horizontalmente con un levantamiento con poligonal, pero no puede medir la línea directamente, puede usar triangulación en su lugar.

El método triangular facilita la búsqueda de puntos en los lados opuestos de arroyos, lagos, ríos, cuerpos de agua.

Figura 1: Levantamiento topográfico con triangulación.



Nota: Tomado de Medinilla, 2020.

2.2.3.1.2. Poligonación:

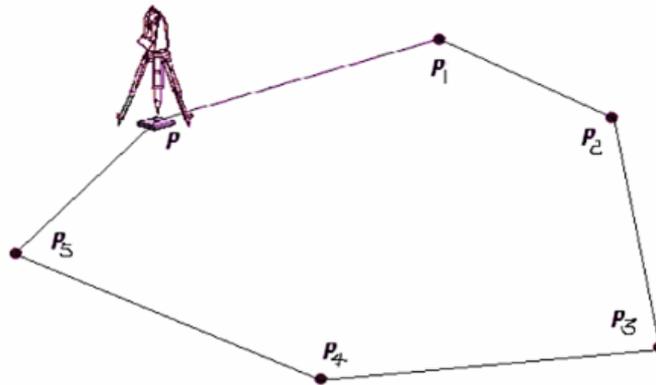
De acuerdo con Jimenez (2007) se usa la intersección una serie de líneas rectas que conectan estaciones poligonales, que son puntos definidos en la ruta de relieve. El camino sigue un patrón en zigzag. Es decir, cada estación de seguimiento cambia de dirección en cada estación de la poligonal.

El levantamiento poligonal es un procedimiento de levantamiento lineal muy común para realizar levantamientos planos. Especialmente indicado para terrenos planos o de muchos árboles.

Según Jimenez (2007), hay 2 tipos básicos de poligonales:

- Poligonal cerrada: donde la línea regresa a su punto de partida o termina en otra estación conocida.

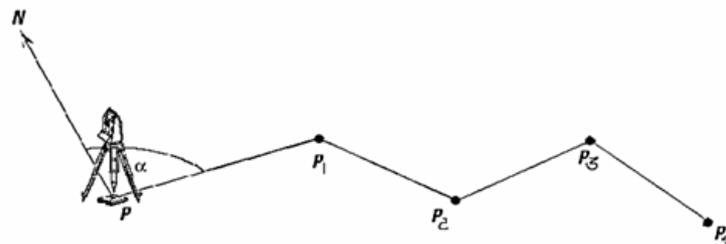
Figura 2: Levantamiento con poligonal cerrada.



Nota: Tomado de Blandon & Mosquera, 2005.

- Poligonal abierta: donde la línea no regresa al punto de partida. Por lo tanto, no hay forma de verificar errores, entonces debe evitarse.

Figura 3: Levantamiento con poligonal abierta.



Nota: Tomado de Blandon & Mosquera, 2005.

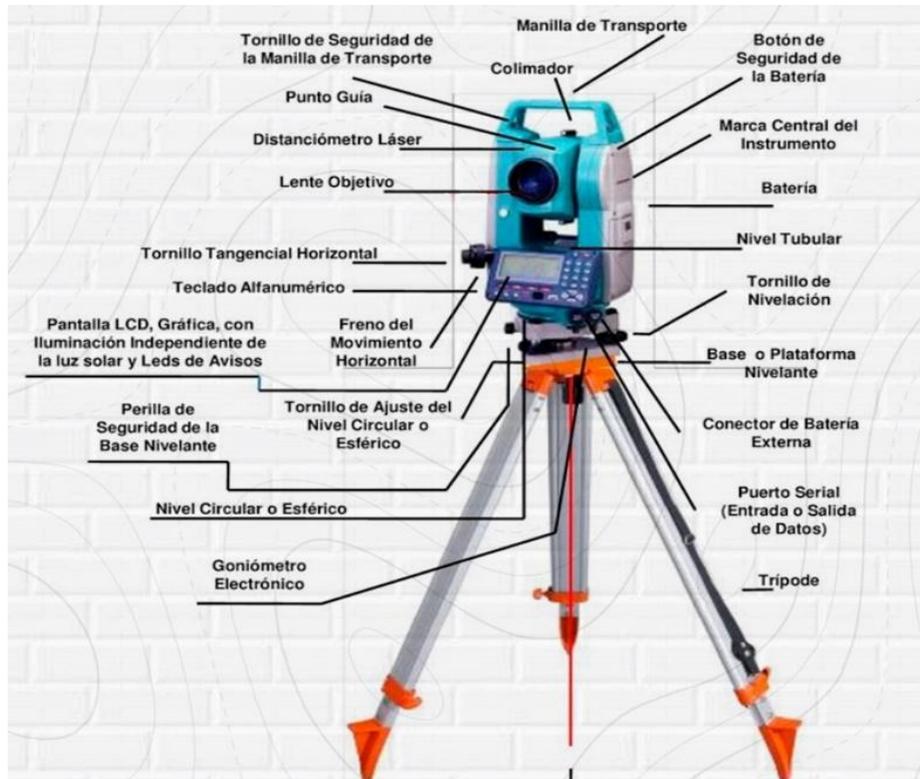
2.2.4. Estación total:

Se denomina estación total a un aparato electroóptico utilizado en topografía, cuyo funcionamiento se apoya en la tecnología electrónica. Consiste en la incorporación de un distanciómetro y un microprocesador a un teodolito electrónico.

Algunas de las características que incorpora, y con las cuales no cuentan los teodolitos, son una pantalla alfanumérica de cristal líquido (LCD), leds de avisos, iluminación independiente de la luz solar, calculadora, distanciómetro, trackeador (seguidor de trayectoria) y en formato electrónico, lo cual permite utilizarla posteriormente en ordenadores personales. Vienen provistas de diversos programas

sencillos que permiten, entre otras capacidades, el cálculo de coordenadas en campo, replanteo de puntos de manera sencilla y eficaz, y cálculo de azimuts y distancias.

Figura 4: Partes de una estación total.



Nota: Tomado de Constructora Ovalle, 2024.

2.2.5. Sistema de posicionamiento global (GPS)

Según Garay et al. (2022), el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) es un servicio propiedad de los EE. UU que brinda a los usuarios información sobre posicionamiento, navegación y cronometría. Este sistema está constituido por tres segmentos: el segmento espacial, de control y de usuario.

- Segmento espacio, está formado por los satélites que envían señales de radio desde el espacio ya que recorren todos los puntos de la superficie terrestre, por lo tanto, su posición exacta es conocida durante las 24 horas del día.
- Segmento control está formado por una red de estaciones de monitoreo alrededor del mundo. Consta de una estación maestra de control que funciona las 24 horas del día y los 7 días de la semana (cuyas funciones son seguimiento,

monitoreo y manejo de la constelación de satélites GPS); además de 5 estaciones monitoras cuya función es el seguimiento pasivo de los satélites GPS que tienen a la vista, obteniendo la información necesaria para calcular con gran precisión sus respectivas órbitas.

- Segmento Usuario está formado por los receptores que captan las señales emitidas por los satélites y empleados para su posicionamiento. Literalmente, consiste en recibir la señal emitida por los satélites y así calcular las soluciones de navegación (posición, altitud, velocidad y tiempo).

2.2.6. GPS diferencial

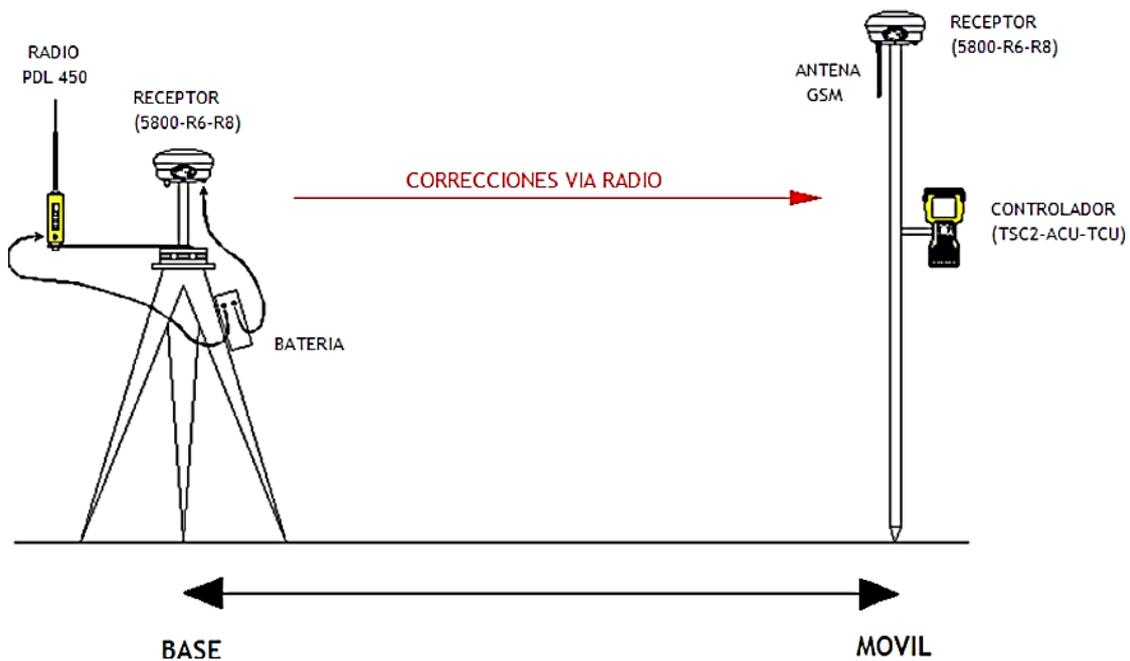
Para minimizar el factor error producido por los segmentos descritos en el ítem anterior, se utiliza mayormente sistemas de GPS diferencial, este permite mejorar la precisión y en consecuencia la fiabilidad de los resultados. Este tipo de receptor además de recibir y procesar la información de una estación terrestre también permite corregir las inexactitudes en tiempo real.

El método diferencial que se utiliza para el levantamiento de información consta de dos equipos GPS que trabajan simultáneamente. Cada uno de estos se sitúan en una posición, con la condición de que una de ellas sea conocida.

- Estación de referencia o base (Inmóvil, en un punto de coordenadas conocidas).
- Móvil o Rover (En movimiento, en puntos de coordenadas desconocidas).

Con esta metodología se consigue conocer algunos de los errores y corregirlos en tiempo real. Las funciones del GPS inmóvil (cuyas coordenadas son conocidas) serán de analizar las señales de todos los satélites visibles, calcular los errores recibidos en la recepción de la señal, los errores de forma individual por satélite y transmitir esta información al receptor móvil. Con este método permiten a los usuarios alcanzar hasta 3m de precisión, cubriendo un aproximado de 200 km; sin embargo, existen también receptores GPS diferencial mucho más sofisticados que funcionan recibiendo múltiples señales de radiofrecuencia cuyo margen de error no sobrepasa, por ejemplo, los 25 cm.

Figura 5: Partes de un GPS diferencial.



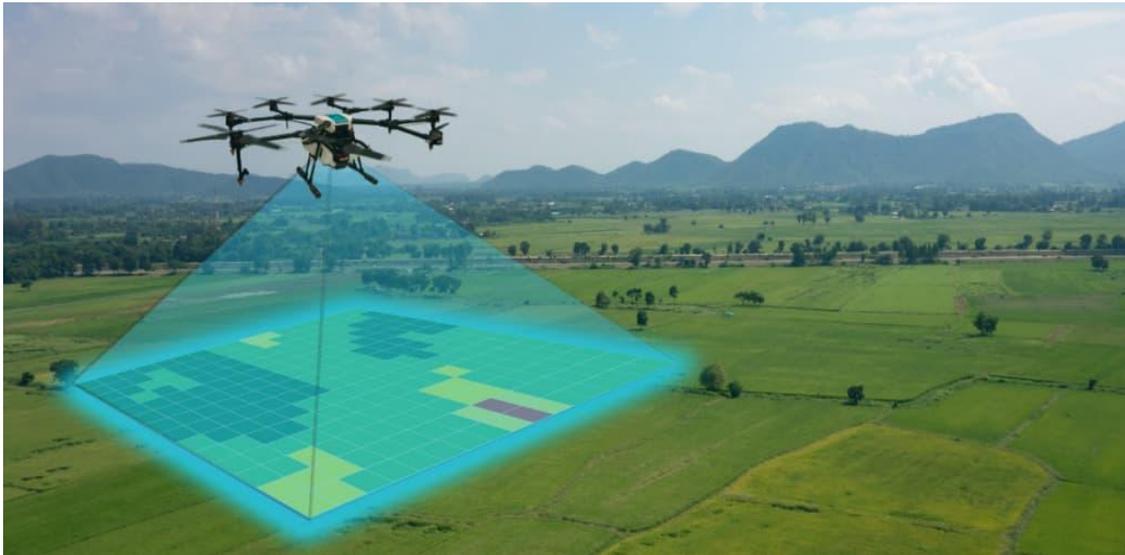
Nota: Tomado de Google imágenes, 2024.

2.2.7. Fotogrametría

La American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (1980), indica que la fotogrametría puede definirse como el arte, ciencia y tecnología cuyo fin es el de obtener información cuantitativa fiable relativa a objetos físicos y su entorno, mediante procesos de registro, medida e interpretación de imágenes fotográficas.

Según Oriondo & Jurado (2023) la fotogrametría es una técnica que tiene como función la determinación de la forma, tamaño y/o posición espacial de un objeto utilizando datos obtenidos de una o más fotografías. La aplicación más importante de la fotogrametría es la topografía, ya que permite la medición de coordenadas en tres dimensiones, así como la representación compleja de objetos en documentos fáciles de usar. Además, la inmediatez de la grabación aumenta en comparación con otras técnicas, lo que permite un procesamiento flexible de la información.

Figura 6: *Fotogrametría de una parcela.*



Nota: Tomado de Mcad, 2022

2.2.8. Levantamiento fotogramétrico

Según Grijalba (2020), es uno de los aspectos más influyentes es el área de la topografía, que permite levantamientos de campo de alta precisión en poco tiempo y proporciona información completa y confiable para el proceso de ingeniería. El tipo de trabajo con drones se ha convertido en una herramienta ideal para cerrar la brecha entre la fotografía aérea y la topografía tradicional.

Según el tipo de captura se tiene:

- **Fotogrametría terrestre:** el disparo se realiza desde el suelo, a distancias a menudo inferiores a 200 m, como en el caso de los levantamientos de edificios;
- **Fotogrametría aérea:** el disparo se realiza desde el cielo, a menudo a través de un dron.

La fotogrametría con drones es muy útil porque, gracias a la posibilidad de fotografiar diversos elementos desde arriba, permite obtener numerosos detalles de cada parte de un proyecto determinado.

Figura 7: Levantamiento fotogramétrico con dron.



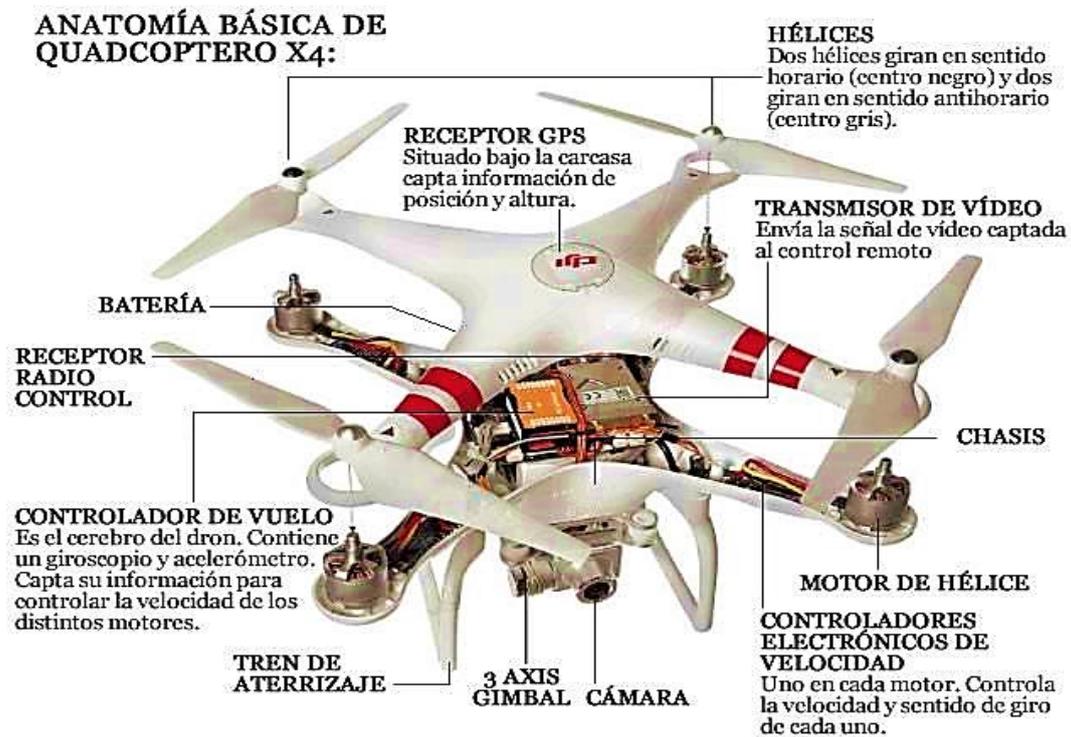
Nota: Tomado de Quirós, 2014.

2.2.9. Drone

Según Addati et al., (2014), un Drone es una plataforma aérea dotada de sensores que tiene por finalidad la obtención de datos geospaciales; esta definición coloca en contexto y ayuda a comprender por qué esta tecnología Drone en sus principios fue utilizado para tareas netamente militares.

De acuerdo con Sani et. al., (2014), un dron topográfico posee capacidades suficientes para fotografiar en un día cien hectáreas de superficie, sin embargo, hay drones de una gama más alta que tiene la capacidad de cubrir cinco mil hectáreas de superficie de manera diaria. Los primeros drones, tenían un control de manera remota, actualmente, se ha logrado implementar el control autónomo. Entonces, hoy en día se manejan drones con control de manera remota y otros que bajo una programación de vuelo permiten el levantamiento de información de determinada superficie.

Figura 8: Partes de un drone.



Nota: Tomado de Banco de datos y circuitos, (24 de octubre de 2018).

2.2.9.1. Cámaras fotogramétricas

Según Quirós (2014), La cámara es un elemento fundamental en el proceso fotogramétrico. Las cámaras que se utilizan son cámaras métricas, calibradas y con una geometría tal que producen resultados óptimos y fiables.

Las cámaras aéreas analógicas se han utilizado hasta la actualidad, pero comienzan ya a quedar obsoletas, sustituidas por la nueva generación de cámaras digitales.

2.2.9.1.1. Cámaras fotogramétricas analógicas:

Las cámaras fotogramétricas analógicas son del tipo de cámara en las que la imagen se registra de forma instantánea en una película fotográfica.

2.2.9.1.2. Cámaras fotogramétricas digitales:

En el uso de cámara digital, las imágenes son registradas por unas pequeñas células fotoeléctricas (CCD = Dispositivo de carga acoplada, referida número de celdas

o detectores, en inglés charge-coupled); que han sustituido el plano focal de la cámara. Para realizar un proceso fotogramétrico exitoso es necesaria la selección adecuada del sensor, ya que existen una gran diversidad de categorías de cámaras como los son las cámaras digitales de pequeño, medio y gran formato, además de esto existen otros que usan las capacidades multiespectrales, esto proporciona una elevada gama de posibilidad al momento de la selección del sensor, la selección debe estar acorde a lo que el proyecto requiere y de las diferentes herramientas de cámaras con las que posean los RPA (Aeronave pilotada a distancia), utilizados para llevar adelante un proceso fotogramétrico.

La imagen rectangular es un formato que se encuentra con mayor frecuencia en las cámaras, la dirección transversal es la que manda para la dimensión mayor ya que de esta manera se minimiza la cantidad de líneas de vuelo. La unidad de medida para el sensor son los milímetros, la cámara Phantom 4 Pro tiene un sensor de 13.2 milímetros. Existe una gran gama de longitudes focales que varían entre 8 mm y 120 mm. La visión es distinta en la dirección de vuelo y para la línea de vuelo porque el formato del sensor es rectangular. En las cámaras digitales, la configuración de la longitud de foco y el tamaño del pixel caracteriza al perfil de operación. El GSD es la distancia en el suelo que separa los centros de dos píxeles adyacentes de una fotografía aérea tomada, estos son los parámetros que determinan las características para cada vuelo fotográfico usando cámaras digitales. (Riaño, 2018).

En la presente Tesis, se ha utilizado el Drone DJI Phantom 4 Pro, que posee una cámara digital con las siguientes características:

- Equipado con un sensor CMOS de 20 Megapíxeles y 1 pulgada. Cuatro veces el tamaño del sensor del Phantom 4 Pro.
- El sensor utiliza píxeles más grandes capturando más información con un máximo de ISO 12800, mejorando el rango dinámico, el contraste, la relación señal-ruido y el rendimiento con poca luz.

- La apertura mecánica del lente elimina la distorsión del obturador en imágenes con movimiento y en altas velocidades. Posee el procesamiento de video más potente que admite H.265 4k a 60 fps. con 100mbps de bitrate e imágenes fijas en modo ráfaga a 14 fps.

Figura 9: Cámara de dron DJI Panthom 4 Pro.



Nota: Tomado de Aerodrones, 2020.

2.2.9.2. Imagen digital

Según Quirós (2014), la imagen digital es una matriz de dos dimensiones, que contiene unas pequeñas celdas a las que se le denominan píxeles, unidades que contienen información. Esta información se extrae según el nivel digital (valor) que varía según el grado de gris.

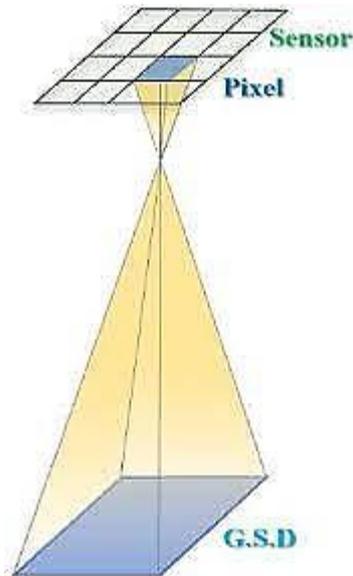
2.2.9.2.1. Características de la imagen digital:

A. Resolución

Si nos referimos a la calidad de una imagen, específicamente hablamos de la resolución. La imagen está formada por pequeñas celdas cuadradas o píxeles, cuando estos son de menor tamaño la imagen tendrá mayor resolución, dado que hay un mayor detalle de información, en este caso, del terreno. Cuando el tamaño de los píxeles es muy grande mucha información se pierde y no hay una representación adecuada del terreno. Ahora, es claro que, a mayor resolución, el almacenamiento o el peso de la

imagen será mayor. La unidad de medida es el PPP que se refiere a píxeles por pulgada. Se denomina resolución espacial para las imágenes aéreas y tiene relación directa con el píxel de la superficie GSD.

Figura 10: *Pixel de una imagen digital.*



Nota: Tomado de Pepe et al., 2022.

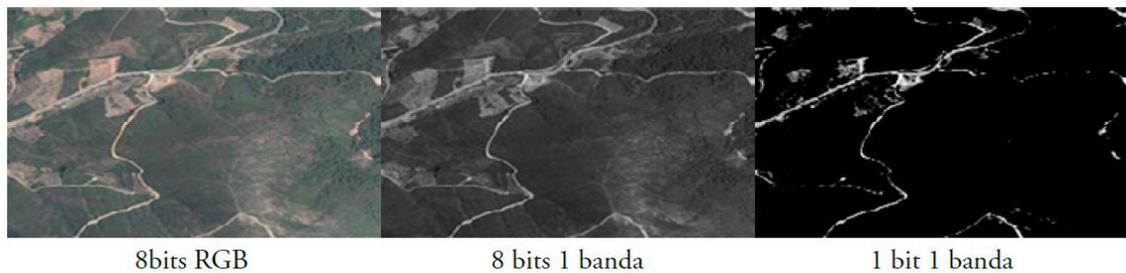
B. Dimensión

El ancho y el alto de la imagen en mm, pulgadas o píxeles viene siendo la dimensión de una imagen.

C. Profundidad de color

La característica de profundidad de color está dada por el número de bits que se utilizaron para la descripción del color de los píxeles. Si la profundidad es mayor, entonces se podrá visualizar una mayor variedad de colores en la imagen. Como muestra del efecto de los bits en la imagen se tiene la Figura 11.

Figura 11: Profundidad de color de una imagen digital.



Nota: Tomado de Quirós, 2014.

D. Tamaño del archivo

El tamaño de un archivo se puede definir como el espacio necesario en una computadora para el almacenamiento de la imagen a procesar.

La cantidad de bits necesario para el almacenamiento depende, como se mencionó anteriormente, de la resolución teniendo en cuenta la dimensión y la profundidad de color.

$$\text{Tamaño} = R^2 * L * A * P$$

Donde:

R^2 = Resolución (ppp)

$L * A$ = Largo y Ancho (pulg.)

P = Profundidad de color

Si es necesario almacenar la imagen a color, el tamaño de esta se debe multiplicar por tres. Se debe tener en consideración que el trabajo y procesamiento de imágenes digitales requiere de un volumen alto de almacenamiento ya que en fotogrametría se trabaja con una gran cantidad de información. Incluso si el proyecto no es de dimensiones elevadas, este estará formado por numerosas imágenes que deben ser almacenadas en un computador con suficiente memoria.

2.2.10. Plan de vuelo fotogramétrico con drone

Según Pérez (2001), el plan de vuelo es fundamental puesto que, el éxito final de cualquier proyecto fotogramétrico depende más de las fotografías de buena calidad.

El diseño del vuelo se hace en función a la escala que se pretenda obtener, del tipo de terreno, su ubicación, sus detalles, la extensión a relevar y condiciones meteorológicas imperantes, fundamentalmente la velocidad del viento.

2.2.10.1. Escala de la fotografía

La escala es la relación entre la distancia de dos puntos en el dibujo y la distancia horizontal, medida en el terreno, entre los correspondientes dos puntos; entendiéndose por distancia horizontal a la medida longitudinal entre los dos puntos proyectados en el plano horizontal.

$$E_F = \frac{1}{m_b} = \frac{f_c}{H_0 - h}$$

Dónde:

H_0 = Altura del plano de referencia o nivel del mar.

H = Altura del objeto o elemento

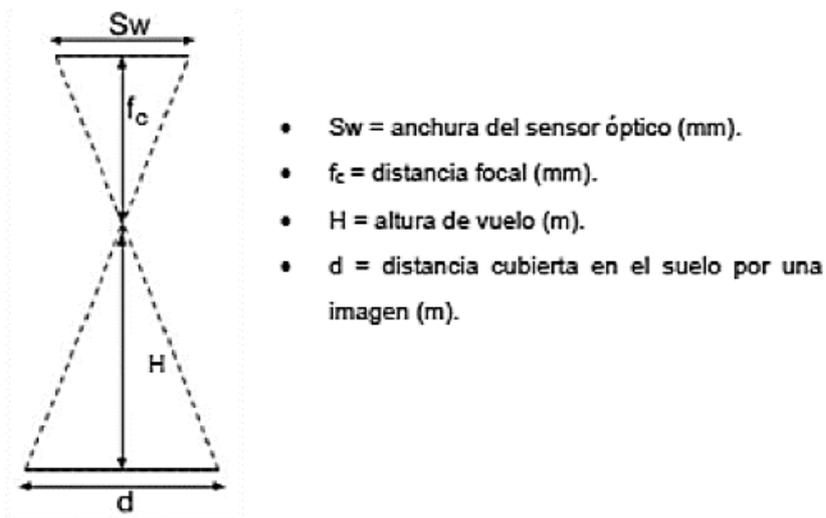
M_b = $H_0 - h$

f_c = Distancia focal

2.2.10.2. Ground Sample Distance (GSD)

La altura de vuelo establece el término llamado “GSD (Ground Sample Distance)”, el valor GSD, se mide en cm/px (centímetros por pixel), este indica la resolución máxima que puede alcanzar el levantamiento fotogramétrico, así mismo, representa la equivalencia de un pixel de la cámara proyectado en la superficie, esto quiere decir que, mientras más altura de vuelo, el pixel cubrirá mayor terreno, sin embargo, la imagen tendrá menor detalle; esto depende de tres factores, el solapamiento de las imágenes, la altitud de vuelo del dron y la resolución de la cámara. Para la interpretación del GSD se muestra la Figura12.

Figura 12: Representación de GSD.



Nota: Tomado de Guevara, 2021

De la imagen anterior, se puede deducir la siguiente fórmula:

$$\text{GSD} = \frac{H * Sw * 100}{f_c * \text{Ancho imagen}}$$

Dónde:

H = Altura de vuelo.

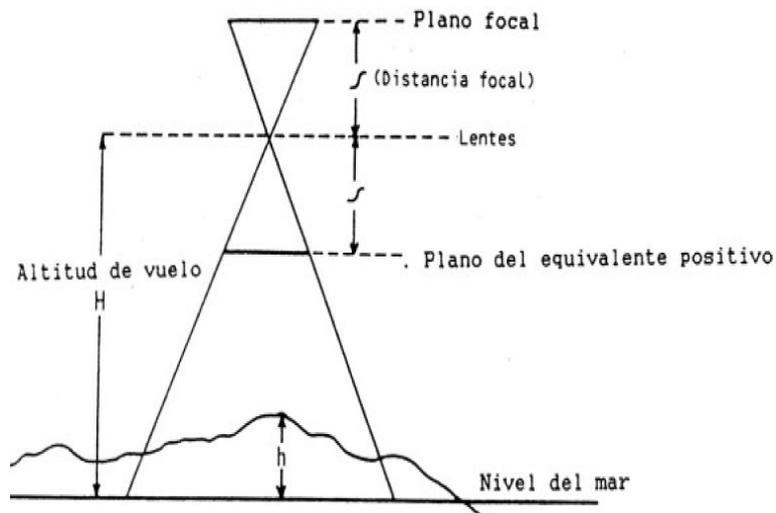
Sw = Ancho del sensor óptico. (Valor fijo).

Fc = Distancia focal (Valor fijo).

2.2.10.3. Altura de vuelo

Según Cano (2016), se entiende por la altura de vuelo como la elevación en metros entre el terreno fotografiado y el centro de la lente del drone.

Figura 13: Representación de altura de vuelo.



Nota: Tomado de Cano, 2016.

2.2.10.4. Solapamiento o traslape de imágenes

Según Cano (2016), es la superposición parcial de las fotografías tomadas por el drone, existen 02 tipos de traslape que se detallan a continuación:

✓ **Traslape Longitudinal:**

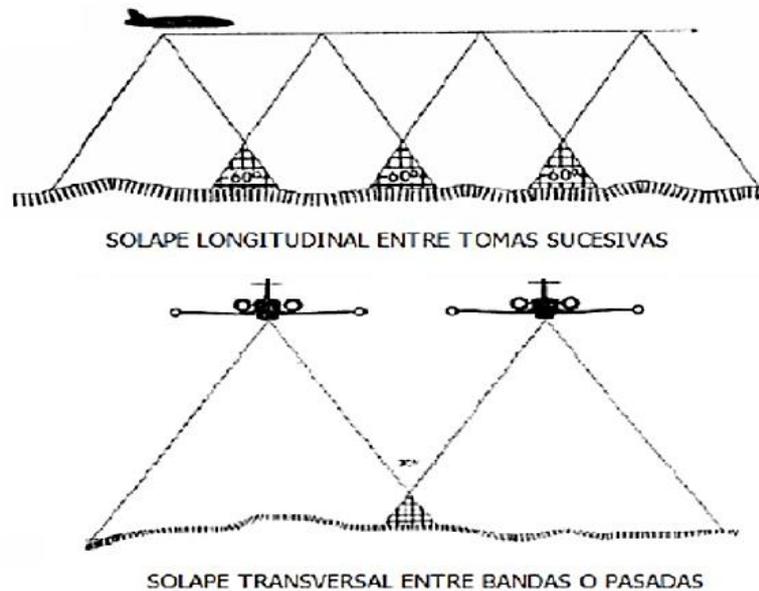
Es el solape necesario entre las fotografías aéreas sucesivas que debe ser un mínimo de 75% para permitir la estereovisión.

✓ **Traslape Transversal:**

Es el solape entre bandas o pasadas del vuelo, el valor recomendable es de 65% mínimo, su finalidad es la de permitir unir las fotografías entre líneas de vuelo.

Ambos traspales son de suma importancia para el procesamiento de la data tomada durante el levantamiento fotogramétrico.

Figura 14: *Traslape longitudinal y transversal.*



Nota: Tomado de Cano, 2016.

2.2.10.5. Tiempo de vuelo

De acuerdo con Vásquez (2021), se define como el tiempo que necesita el dron para realizar el levantamiento fotogramétrico, cuyo parámetro depende del tipo de dron a utilizar, por lo que en los drones multirrotor se recomienda de 15 a 25 minutos y el los de ala fija de 60 a 90 minutos.

2.2.10.6. Puntos de control terrestre (GCP)

Según Brondi (2019), los puntos de control terrestre, son de importancia vital para cualquier levantamiento fotogramétrico que necesite tener elevadas precisiones, los puntos son marcas en el terreno, de las cuales se conocen previamente sus coordenadas exactas, tomadas con equipos topográficos de precisión alta como el GPS diferencial, esto le permite al software de procesamiento fotogramétrico, poder escalar toda la nube de puntos para que encaje de forma exacta con los puntos de control marcados, idealmente, deben ser mayor igual a 4 puntos, distribuidos de forma separada uno del otro en toda la zona del levantamiento fotogramétrico.

Según DJI (2021), La cantidad de puntos necesarios para crear un levantamiento fotogramétrico varía según el tamaño de la zona y de la variedad del

terreno. Los expertos suelen recomendar el uso de al menos 05 GCP, pero en algunos casos se utilizan hasta 20. Sin embargo, es importante tener en cuenta que a más puntos no implican necesariamente una mejor lectura. En una prueba realizada con el DJI Phantom 4 Pro, el Departamento de Transporte de Nevada descubrió que los GCP adicionales ofrecían rendimientos decrecientes después de aproximadamente 10 puntos de control terrestre.

El número de puntos es referencial y está relacionado al tipo de topografía del terreno, altura de vuelo, traslapes y el tipo de dron.

A continuación, en la Figura 15 se muestra una referencia del número de puntos de control terrestre, según el tipo de terreno, altura de vuelo y traslapes.

Figura 15: *Número de puntos de control terrestre.*

Terreno	VARIABLES DE VUELO	Orto mosaicos
Terreno escarpado	Altura 100 m - Traslazo 80%	9 puntos de control
		5 puntos de control
		4 puntos de control
		3 puntos de control
	Altura 100 m - Traslazo 90%	9 puntos de control
		5 puntos de control
		4 puntos de control
		3 puntos de control
	Altura 70 m - Traslazo 80%	9 puntos de control
		5 puntos de control
		4 puntos de control
		3 puntos de control
	Altura 70 m - Traslazo 100%	9 puntos de control
		5 puntos de control
		4 puntos de control
		3 puntos de control

Nota: Tomado de Castro & Urrego, 2018.

Según recomendaciones de Pix4D con respecto al número y distribución de los GCP se indica que:

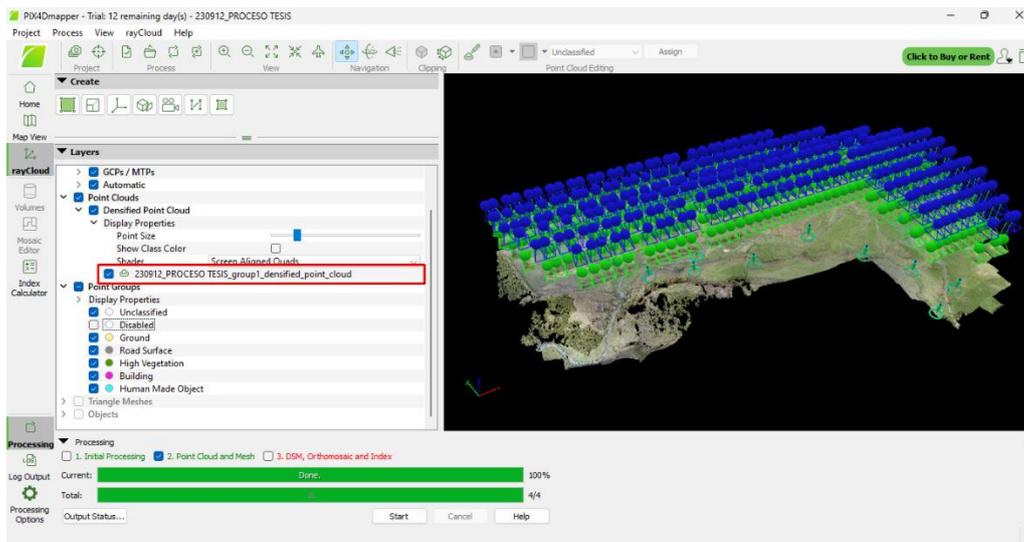
- Se requiere un mínimo de 3 GCP los cuales como mínimo deben estar marcados en dos imágenes.

- Recomienda el mínimo de 5 GCP, siendo generalmente alrededor de 5 a 10 suficientes, incluso en proyectos grandes, precisando que una mayor cantidad de GCP no contribuye de forma significativa al aumento de la precisión.
- En caso de áreas con topografía compleja, un mayor número de GCP conducirán a una reconstrucción más precisa.
- Recomienda al menos el uso de 5 GCP, identificados cada uno de estos por 5 imágenes para minimizar las imprecisiones de medición y detectar errores al insertar los GCP.
- Los GCP deberán distribuirse de manera uniforme para minimizar el error de escala y orientación.
- No se deberán colocar los GCP en los bordes del área, puesto que serán visibles en pocas imágenes.

2.2.10.7. Nube de puntos

Según Guevara (2021), la nube de puntos es un conjunto de vértices en un sistema de coordenadas definido, para aplicaciones fotogramétricas, se considera el sistema de coordenadas geográfico, siendo X la latitud, Y la longitud y Z la altitud, estos vértices, o “puntos” son generados por el software que procesa las imágenes estereoscópicas, basándose en los modelos 3D que logra construir en base a estas, estos vértices son usados debido a que generan menor carga de procesamiento para el procesador, y permiten una representación más exacta del mundo real en un entorno digital en menor espacio de almacenamiento, además de ser fáciles de interpretar para cualquier software de procesamiento de datos.

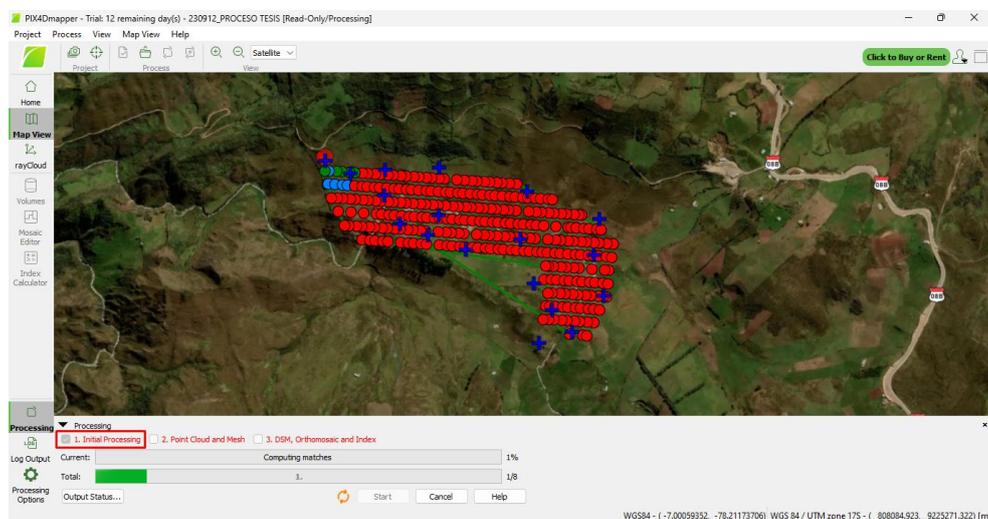
Figura 16: Número de puntos.



Nota: Tomado del software Pix4D.

Según Guevara (2021), la malla es el resultado de la unión de todos los puntos de una nube de puntos, la cual genera una estructura poligonal, la cual a su vez, genera una superficie sólida en 3 dimensiones, permitiendo así al software, generar modelos sólidos que representan la geografía real de una zona, en base a las coordenadas de la nube de puntos, representando crestas y depresiones de manera relativamente exacta a la realidad tridimensional, la cual puede usarse para generar curvas de nivel, y otros productos topográficos.

Figura 17: Malla de puntos.



Nota: Tomado del software Pix4D.

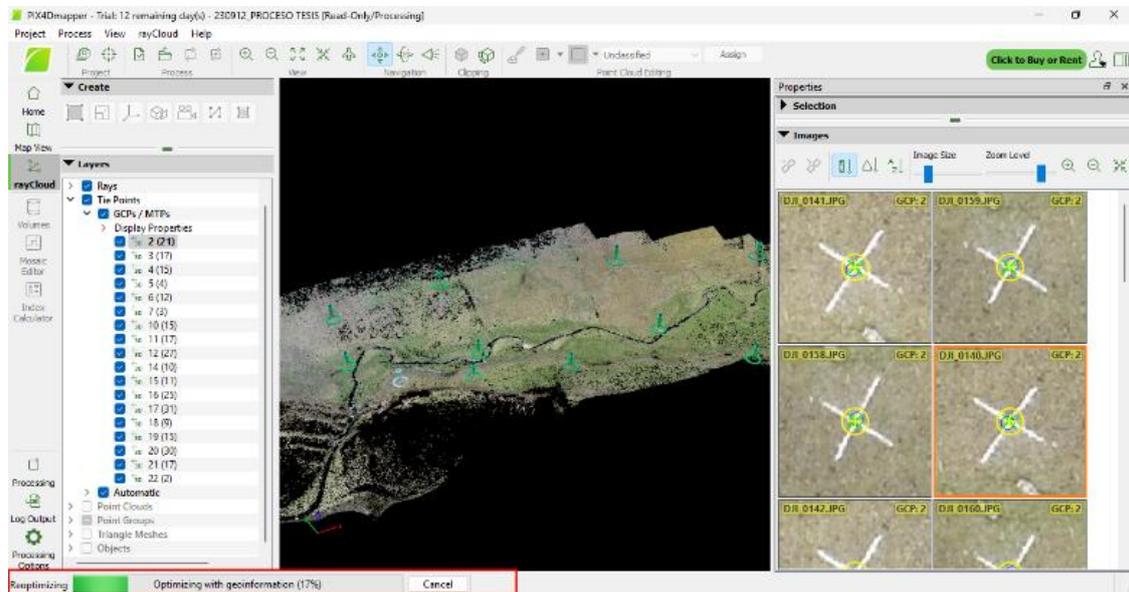
2.2.11. Procesamiento del vuelo

Culminado el vuelo fotogramétrico las fotografías y obtenidas las coordenadas de los puntos de control terrestre, se realiza el cálculo de los parámetros de orientación de cada una de las fotografías (restitución fotogramétrica) mediante la Aerotriangulación.

✓ Aerotriangulación

Según Quirós (2014), es un proceso que consiste en la triangulación e intersección espacial simultánea de los haces de rayos registrados en las imágenes. Los haces proyectados a partir de dos o más imágenes que se traslapan e interceptan en los puntos de control fotográfico comunes, para definir coordenadas tridimensionales para cada punto. Es un modelo matemático basado en ecuaciones de colinealidad que incorpora gran cantidad de redundancias al proceso para poder dar robustez al sistema y poder obtener unos resultados con alta fiabilidad.

Figura 18: Restitución fotogramétrica



Nota: Tomado del software Pix4D.

Figura 19: *Proceso de aerotriangulación.*



Nota: Tomado de Álvarez, 2022.

2.2.12. Productos fotogramétricos

De acuerdo con Quirós (2014), los productos por excelencia que se obtienen del proceso fotogramétrico son los siguientes:

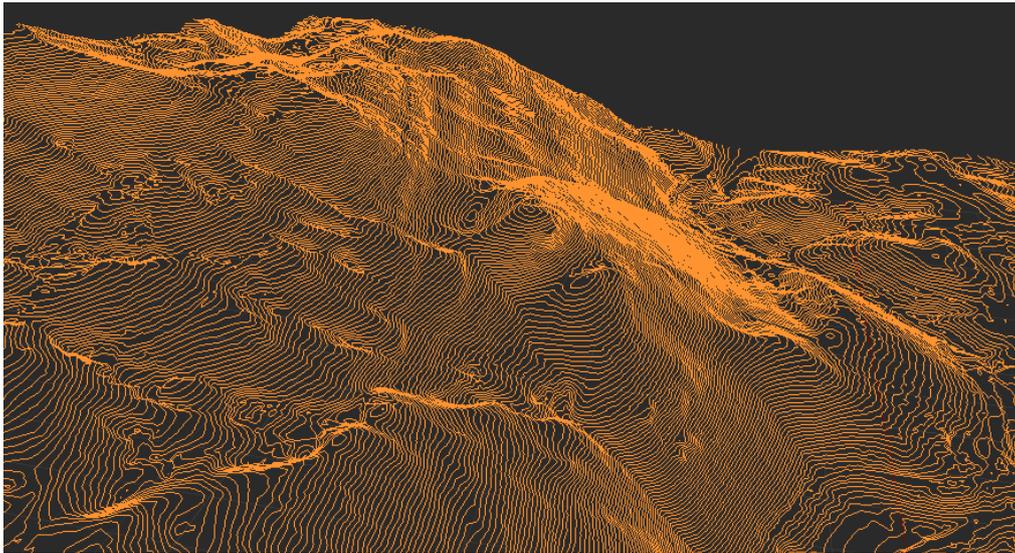
2.2.12.1. Modelos digitales 3D

Si a cada punto significativo tomado del terreno se le miden y almacenan las coordenadas x , y , z (nube de puntos) es posible reconstruir un sistema gráfico tridimensional del relieve del terreno. Los principales modelos 3D del proceso fotogramétrico son:

✓ Modelo digital de terreno (MDT)

El MDT (Digital Terrain Model) es la representación o modelo 3D de un terreno, está referido al relieve del terreno, sin vegetación, infraestructura o edificación existente. Los datos básicos para un MDT son las coordenadas x , y , z de los puntos significativos, además, mientras más densa sea la malla formada por los puntos el MDT obtenido representará con mayor exactitud la forma real del terreno, se puede obtener curvas de nivel, perfiles, secciones transversales o vistas panorámicas, y calcular volúmenes de tierra.

Figura 20: *Representación de MDT.*

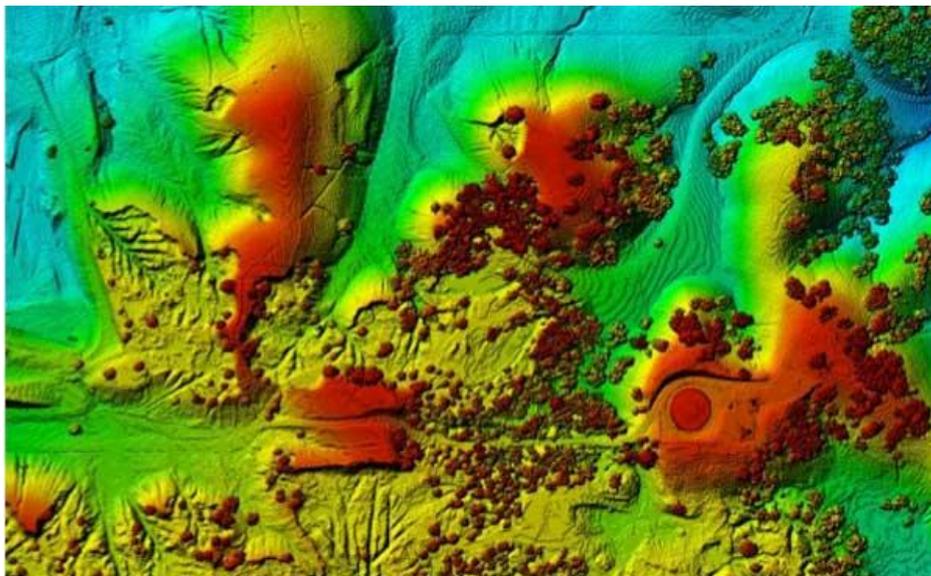


Nota: Tomado de Gómez, 2024.

✓ **Modelo digital de terreno (MDS)**

El (MDS, Digital Surface Model) es el tipo de modelo se representa todos y cada uno de los elementos presentes en el terreno analizado como el propio suelo, la vegetación, las construcciones y edificaciones.

Figura 21: *Representación de MDS.*



Nota: Tomado de Franz PC, 2018.

✓ **Modelo digital de elevación (MDE)**

El (MDE Digital Elevation Model), se refiere a un modelo digital que contempla las variaciones de alturas o la distribución espacial de la altitud de los elementos sobre el terreno o suelo.

Figura 22: *Representación de MDE.*

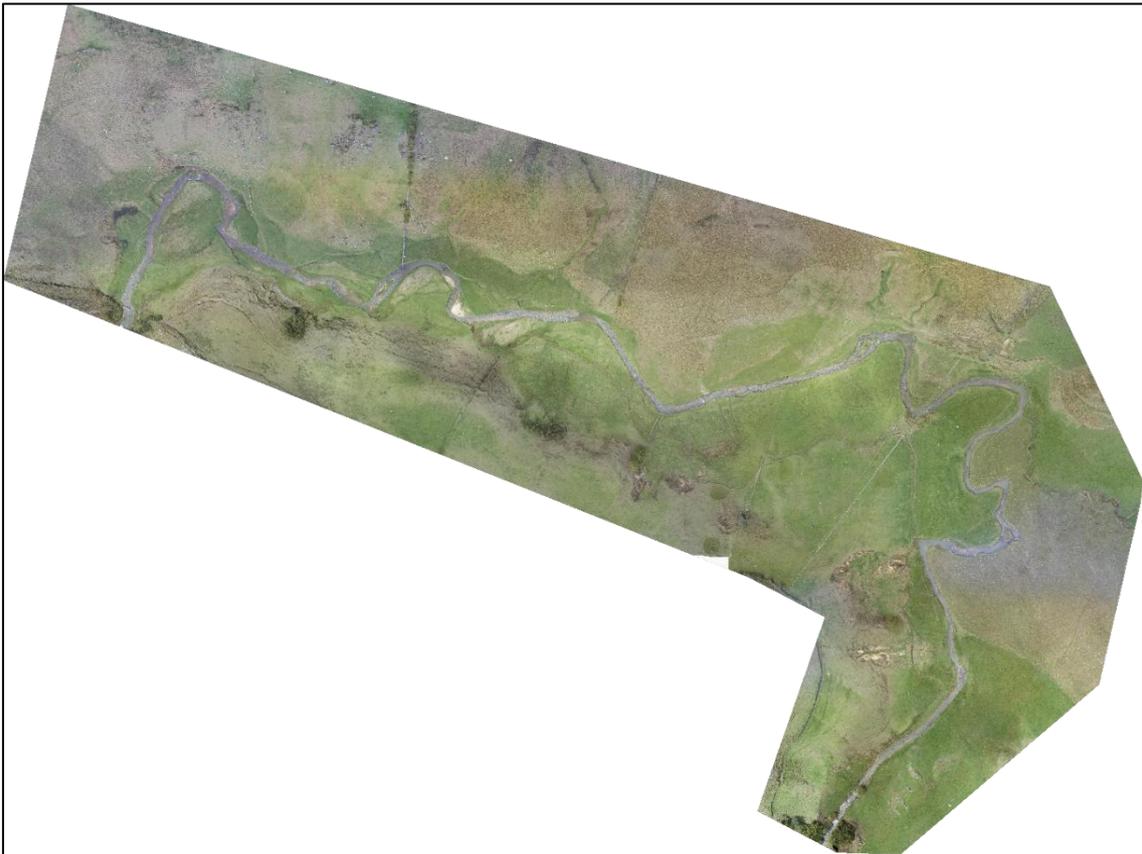


Nota: Tomado de Franz PC, 2018.

2.2.12.2. Ortofotografías

Una ortofoto (también conocido como ortomosaico u ortomapa) es el resultado de un conjunto de imágenes aéreas tomadas con dron que han sido geométricamente corregidas y georreferenciadas, por lo que puede ser utilizada como un mapa al representar objetos, calles, casas, edificios, terrenos, etc. en sus posiciones y dimensiones reales. La diferencia entre una ortofoto y una foto aérea es que esta última no está georreferenciada (al menos no con un alto grado de precisión), además de que presentará distorsiones y no podrá cubrir un área grande en el terreno.

Figura 23: *Representación de Ortofotografía.*



Nota: Tomado del software Pix4D.

2.2.13. Proceso electrónico de información de campo

Según Torres & Villate (2000), el aporte más primordial de la computadora en todos los procesos de cálculo es la velocidad de procesamiento de datos y la eliminación de la posibilidad de errores aritméticos. Naturalmente, si los datos contienen imprecisiones o errores, el computador producirá resultados imprecisos o equivocados. Por tanto, el computador no puede sustituir ni remplazar el criterio, basado en los conocimientos del ingeniero que maneja la información.

Con el avance de la tecnología, nos ha permitido incorporar herramientas fundamentales como son los softwares(programas), que su aplicación en la ingeniería civil cada vez es más común, así como el uso de estos programas son detallados y comprensibles.

2.2.13.1. Software para topografía

En la actualidad, existen diversos programas que nos facilitan diseñar, dibujar, calcular, procesar los proyectos ingenieriles, utilizando la computadora a través de programación en el lenguaje COGO (Coordinate Geometry), entre los principales programas tenemos los siguientes:

✓ AutoCAD Civil 3D:

Autodesk AutoCAD Civil 3D es un software dirigido al diseño y generación de documentación para una gran variedad de proyectos de ingeniería civil, soporta los flujos de trabajo BIM (Building Information Modeling): en carreteras y vías de alta capacidad (autovías/autopistas) con todo tipo de complejidad, ferrocarriles, aeropuertos, entre otros.

En la presente tesis se utilizó este software para modelar la información del levantamiento topográfico.

✓ Trimble Business Center (TBC)

Es un software de procesamiento de datos diseñado para trabajos de topografía, cartografía, ingeniería civil, y construcción que necesitan gestionar datos con precisión y eficiencia. Con TBC, se puede procesar y analizar datos del sistema GNSS, drones, estación total, permitiendo la creación de modelos topográficos detallados

2.2.13.2. Software para fotogrametría

Los softwares para la fotogrametría son diversos en la actualidad, que son de fácil utilización, definidos para cada etapa del levantamiento fotogramétrico.

2.2.13.2.1 Software para plan de vuelo y toma de fotos

✓ DroneDeploy

DroneDeploy es un programa que permite a los usuarios capturar imágenes y videos de alta resolución desde el aire. Esto es esencial para la seguridad y la vigilancia, ya que proporciona una visión detallada de áreas específicas.

2.2.13.2.2 Software para procesamiento de data de campo

✓ Pix4Dmapper

Es un software de procesamiento de imágenes, que son obtenidas producto del trabajo con drones. A través del uso de algoritmos de última generación y avanzadas técnicas de procesamiento fotogramétrico genera nubes de puntos, modelos digitales de superficie y ortofotos de muy alto detalle que son utilizados en el campo de la fotogrametría.

2.2.14. Prueba T- Student

Según Sánchez (2015), la prueba t-Student se fundamenta en dos premisas; la primera: en la distribución de normalidad, y la segunda: en que las muestras sean independientes. Permite comparar muestras, $N \leq 30$ y/o establece la diferencia entre las medias de las muestras. El análisis matemático y estadístico de la prueba con frecuencia se minimiza para $N > 30$, utilizando pruebas no paramétricas, cuando la prueba tiene suficiente poder estadístico.

2.2.15. Teoría de errores

García et al. (1994), menciona que los errores en los trabajos topográficos se deben a las limitaciones de la vista humana y a las imperfecciones en los aparatos topográficos que sean empleados, siendo el estudio de los errores de gran importancia en la topografía puesto que permite determinar el error total que se puede esperar de un determinado trabajo, las tolerancias con que se puede trabajar y los equipos y métodos que son más precisos emplear para mantener los errores admisibles.

2.2.15.1. Errores absolutos y relativos

García et al. (1994) define a los errores como:

- Error absoluto: diferencia entre el valor real (o el admitido como real) de una magnitud y el valor medido.
- Error relativo: cociente entre el error absoluto y el valor real (o el admitido como real) de la magnitud, este puede expresarse en tanto por ciento.

- Errores verdaderos: estos nunca serán conocidos por lo que siempre se trabajará con los errores absolutos y relativos aparentes.

2.2.15.2. Error probable

Según García et al. (1994) en la topografía interesa determinar los valores característicos los cuales pueden dar un alcance de la precisión de los aparatos y métodos empleados, usualmente son empleados los siguientes errores medios:

- Error probable: si se pone de forma ordenada a los errores en valor absoluto, el que se encuentra situado al centro es el error probable.
- Error medio aritmético: es la media aritmética de los errores verdaderos prescindiendo de sus signos.

$$E_A = \frac{\sum |E_i|}{n}$$

- Error medio cuadrático: se define por la siguiente expresión:

$$E_C = \sqrt{\frac{\sum E_i^2}{n}}$$

Trabajando con los errores cuadráticos la precisión viene mejor determinada, ya que los errores más grandes adquieren mayor relevancia. Por lo tanto, es el error cuadrático el que se suele emplear para caracterizar los errores cometidos en un determinado trabajo topográfico. (García et al,1994, p 42)

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

La definición de términos básicos, importantes en la presente tesis, se citan a continuación:

2.3.1. Microrepresa

Es un sistema de captación de agua de una fuente natural o artificial, que permiten recoger y almacenar agua para diferentes fines como uso agrícola y doméstico.

2.3.2. Estación Leica TS06 Plus 5”

Las estaciones totales Leica TS06 Plus 5” es el tipo de estación total más común en la actualidad porque permite trabajar de manera rápida y eficiente desde el primer día.

Cuenta con un teclado alfanumérico para un acceso rápido y facilidad de uso, además cuenta con conectividad USB, alta Capacidad de memoria y tecnología inalámbrica Bluetooth.

2.3.3. Drone Phantom 4 Pro

Este equipo fue diseñado con el fin de mejorar todas las versiones anteriores de P4. Debido a sus especificaciones técnicas, permite la creación de fotografía aérea y la realización de video profesional con una gran calidad. Es por ello por lo que este equipo es el ideal tanto para profesionales como para quienes se inician y es utilizado ampliamente en la fotogrametría.

2.3.4. Sistema de coordenadas

Es un sistema de referencia que permiten identificar de manera inequívoca la posición de un punto, entidades geográficas, imágenes y observaciones (como las localizaciones GPS) dentro de un marco geográfico común.

2.3.5. Precisión

Es el grado de consistencia y repetibilidad de un conjunto de mediciones. En un escenario ideal, la precisión refleja la habilidad para obtener resultados consistentemente similares bajo condiciones idénticas, un aspecto crítico que sustenta la confiabilidad y la validez de los datos geoespaciales recopilados.

2.3.6. Error

Un error es una equivocación o un fallo en cualquier contexto, para la topografía y fotogrametría, se denomina la diferencia existente entre el valor medido y el valor real de la magnitud considerada.

CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación política

El área de estudio se encuentra ubicado en el Departamento de Cajamarca, Provincia de Celendín, Distrito de Huasmín.

Tabla 2: *Ubicación política*

DEPARTAMENTO	CAJAMARCA
PROVINCIA	CELENDÍN
DISTRITO	HUASMÍN

3.2. Ubicación geográfica del área de estudio

El proyecto de investigación está desarrollado en la microrepresa de Sendamal en un área de 26.79 Has, en el distrito de Huasmín, Provincia de Celendín del Departamento de Cajamarca; ubicado geográficamente según la Tabla 3 y Tabla 4:

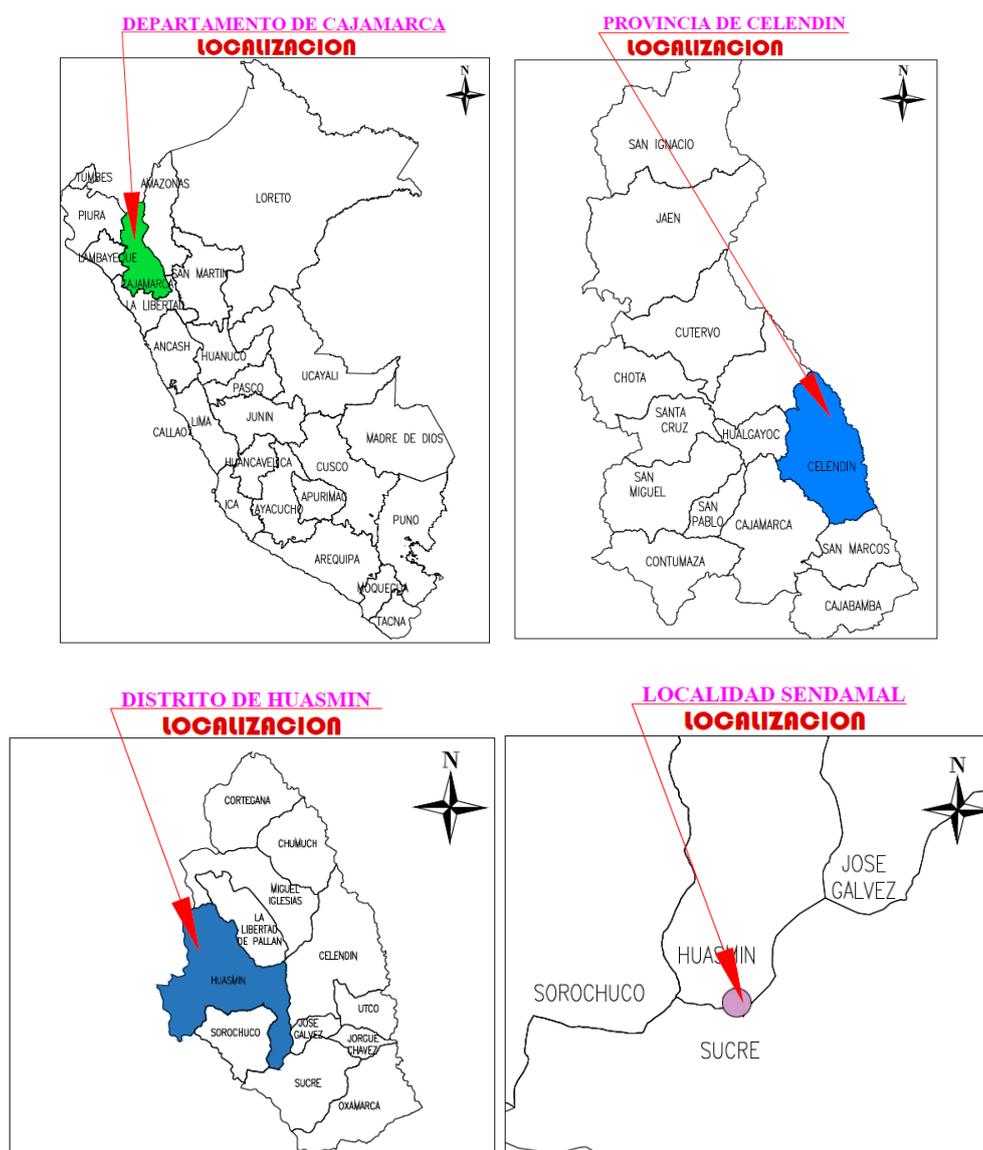
Tabla 3: *Coordenadas UTM del Proyecto de Investigación*

COORDENADAS UTM WGS84 – ZONA 17M			
DESCRIPCIÓN	NORTE	ESTE	COTA
P1	9225818.214	808286.796	3220.000

Tabla 4: *Coordenadas Geográficas del Proyecto de Investigación*

COORDENADAS GEOGRÁFICAS			
DESCRIPCIÓN	LATITUD	LONGITUD	ELEVACIÓN
P1	6°59'44.31"S	78°12'35.79"O	3220.000

Figura 24: Ubicación geográfica de la Microrepresa Sendamal



Nota: Tomado de Portal del Estado Peruano www.gob.pe

3.3. Recursos, equipos y herramientas utilizados en la investigación.

3.3.1. Equipos y herramientas

- Estación Total Leica TS 06 PLUS 5" (N° serie 1893007) y accesorios (Trípode, jalones, prisma).
- DRONE PHANTOM 4 PRO - Marca DJI.
- Receptor Trimble R8-Modelo 2- Base (N° serie 4906K34427).
- Rover Trimble R8-Modelo 2.
- Laptop MSI Cross Hair- Core I7- 11th.

- Camioneta 4 x4

3.3.2. Materiales

Materiales para puntos de control:

- Cemento
- Agua
- Pintura
- Varilla de fierro de 1/2"
- Libreta de campo

3.3.3. Softwares informáticos

- Trimble Business Center v3.50.
- Pix4DMapper
- Autodesk Civil 3D 2018
- Microsoft Excel 2022
- Microsoft Word 2022
- Drone Deploy

3.4. Desarrollo de la Metodología a Seguir en el Desarrollo del Trabajo de Investigación.

3.4.1. Tipo, nivel, diseño y método de la investigación

- Tipo: Aplicada
- Nivel: Descriptiva-comparativa.
- Diseño: Cuantitativo
- Método de la investigación: Comparación, análisis.

3.4.2. Población y muestra de estudio

3.4.2.1. Población

La microrepresa de Sendamal, en el distrito de Huasmín, Provincia de Celendín del Departamento de Cajamarca.

3.4.2.2. Muestra

La muestra es de 26.79 Has de la Microrepresa de Sendamal, en el distrito de Huasmín, Provincia de Celendín del Departamento de Cajamarca se seleccionó conforme a la cuenca hidrológica de la zona.

3.4.3. Técnicas e instrumentos para recolectar datos en campo

Se realizó la toma de datos con una estación total Leica TS06 plus 5", de todos los puntos tales como desniveles y cambios de pendiente de la microrepresa de Sendamal, para ser procesados mediante el software AutoCAD Civil 3D.

Se realizó tomas fotográficas aéreas con drone Phantom 4 pro, una vez hechas estas fotografías se elaboró la digitalización de estas con el apoyo del software Pix4D para fotogrametría.

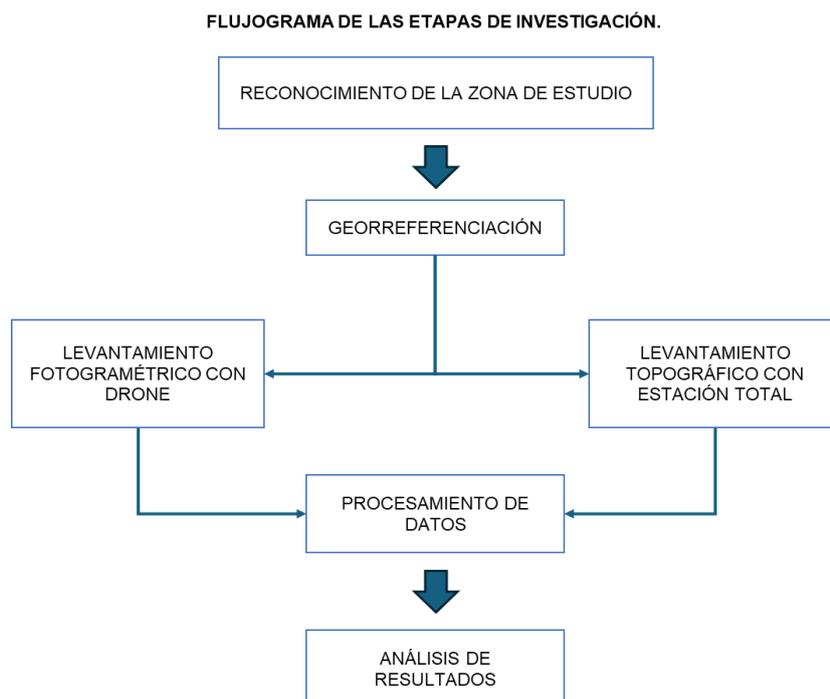
Los instrumentos que se emplearon son:

- Formatos de recolección de datos en campo.
- Libreta de apuntes.

3.5. Procedimiento de la investigación

A continuación, se muestra el flujograma del procedimiento de investigación:

Figura 25: *Flujograma del proceso de investigación.*

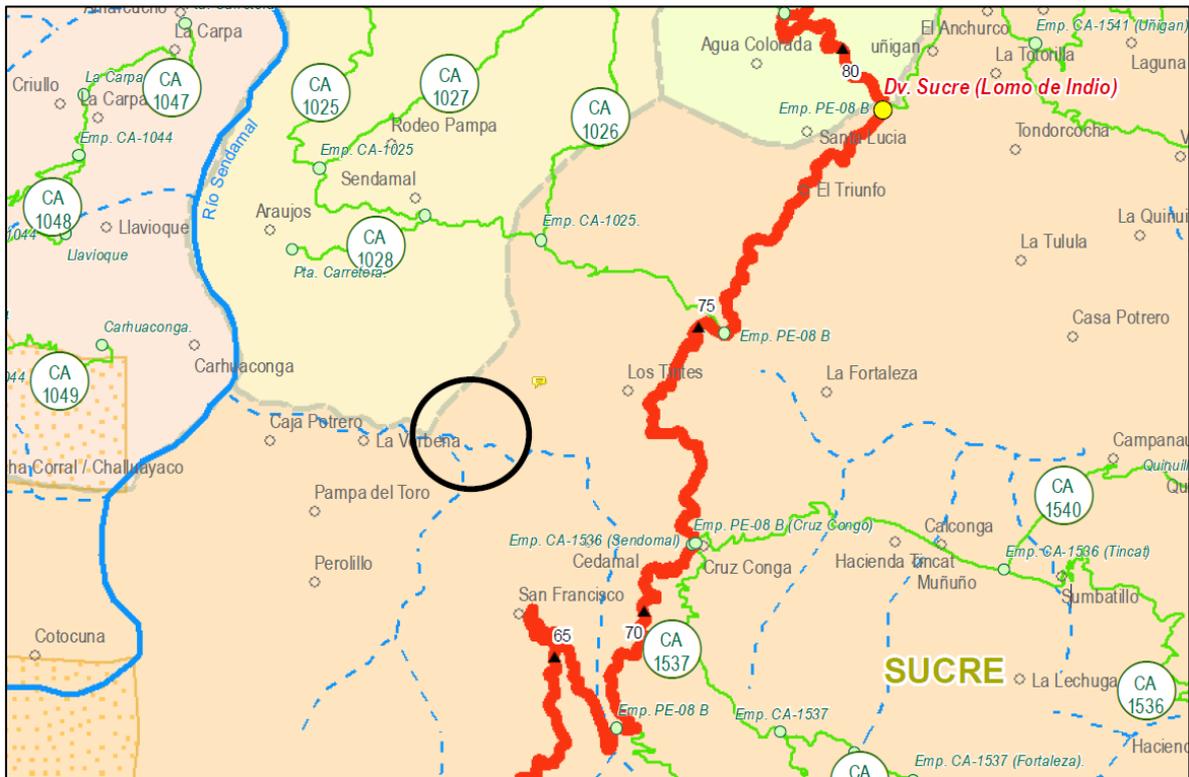


3.5.1. Reconocimiento de la zona de estudio

Se inspeccionó la zona en estudio, para evaluar la topografía, para el levantamiento fotogramétrico y el levantamiento topográfico convencional, con la finalidad de determinar lo siguiente:

- El área de estudio es de 26.79Has.

Figura 26: Área de estudio Microrepresa Sendamal 26.79 Has (Carretera Cajamarca – Celendín PE08B – Prog. 72 + 770)



Nota: Mapa Vial por Provincias del MTC (D.S. N°011-2016-MTC)

- Se eligieron ubicaciones adecuadas y de mayor visibilidad del área de estudio para el posicionamiento de las estaciones que han servido para el levantamiento con estación total Leica TS06 Plus 5”.

Figura 27: Reconocimiento de la zona de estudio.



- Se identificaron los lugares donde se han colocado los puntos de control para el levantamiento con Drone Phantom 4 Pro, estos presentaron la forma de "X" con dimensiones de 1m x 1m y que sean visibles.

Figura 28: Trazado de Puntos de Control.



3.5.2. Georreferenciación:

En esta etapa se determinó la ubicación y posición de los puntos de control de concreto con sus respectivos códigos (BM 1-1 y BM 2-2) como se indica en la Tabla 5, para el levantamiento topográfico con estación total.

Seguidamente se determinaron puntos de control (1 al 24) que se muestran en la Tabla 6, los cuáles se marcaron con pintura para el levantamiento con dron.

Una vez señalizados los puntos de control para ambos casos se procedió a realizar las lecturas con GPS diferencial Trimble R8, posterior a ello se inició con los levantamientos topográficos con cada equipo.

Utilizando la estación total primero nos estacionamos en el BM 1-1 conocido y monumentado en la zona de estudio y con la ayuda de la lectura del otro punto BM 2-2 conocido por GPS diferencial nos orientamos.

- Para el levantamiento con la Estación Total TS06 plus 5" se utilizan los BM1-1 y el BM2-2 monumentados con ayuda de las mediciones del GPS Diferencial Trimble R8, posterior a ello se realiza la toma de los puntos de control para cerrar el polígono.

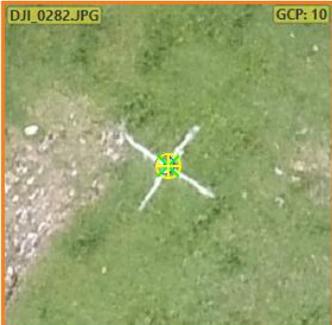
Tabla 5: Datos de BM's para Estación Leica TS06 Plus 5"

BM's (Estación Total)			
BM's	Norte (m)	Este (m)	Elevación (msnm.)
BM 1-1	9226016.8950	807741.5690	3280.834
BM 2-2	9225989.1130	808003.2310	3250.194

- Para el levantamiento fotogramétrico utilizando el Dron se han definido los puntos de Control los cuales han servido para el procesamiento de la data del proyecto.

Tabla 6: Puntos de fotocontrol para Phantom 4 Pro

PUNTOS DE FOTOCONTROL (Dron)				
PUNTO	NORTE (m)	ESTE (m)	COTA (m)	
1	807741.569	9226016.90	3280.834	
2	807976.311	9225818.23	3240.019	
3	808066.017	9225781.59	3241.216	
4	808187.035	9225734.43	3245.575	
5	808404.373	9225624.27	3257.499	

PUNTOS DE FOTOCONTROL (Dron)				
PUNTO	NORTE (m)	ESTE (m)	COTA (m)	
6	808461.978	9225538.96	3257.909	
7	808420.039	9225433.63	3258.248	
10	808525.766	9225468.23	3233.645	
11	808627.779	9225583.73	3231.910	
12	808596.774	9225714.66	3226.710	

PUNTOS DE FOTOCONTROL (Dron)				
PUNTO	NORTE (m)	ESTE (m)	COTA (m)	
14	808615.657	9225830.01	3244.513	
15	808384.797	9225919.53	3251.597	
16	808361.820	9225767.06	3223.376	
17	808100.418	9225845.14	3217.493	
18	808102.940	9225997.47	3247.061	

PUNTOS DE FOTOCONTROL (Dron)				
PUNTO	NORTE (m)	ESTE (m)	COTA (m)	
19	807929.745	9225991.72	3241.998	
20	807926.328	9225909.83	3215.946	
21	807818.427	9225980.70	3244.016	
22	807738.110	9226021.55	3281.861	
23	807734.073	9226028.24	3283.391	

PUNTOS DE FOTOCONTROL (Dron)			
PUNTO	NORTE (m)	ESTE (m)	COTA (m)
24	807734.067	9226028.23	3283.394



Figura 29: Receptor Geodésico Trimble R8-base.



3.5.3. Levantamiento topográfico con dron:

Para realizar el levantamiento fotogramétrico se utilizó el dron PHANTOM 4 PRO, un celular y aplicativo Drone Deploy, para los puntos de control se ha utilizado el equipo Trimble R8 con procedimiento para fotogrametría digital aérea, como se detalla a continuación:

- Primeramente, se elaboró el plan de vuelo para tomar las fotos, utilizando la aplicación Drone Deploy, en el cual se configuró el tipo de vuelo y los parámetros de acuerdo con el tipo de dron.

- Previa inspección visual del área de estudio se planteó la ubicación de 24 puntos de los cuales 18 son PC y 06 PA de manera que cubran en promedio cuadrantes de 40m x 40m.
- Se señalaron todos los puntos en forma de "X" de dimensiones 1m x 1m para luego ser medidos con el equipo Trimble R8.
- Se inició el plan de vuelo que, según el cálculo de acuerdo con la configuración, ha requerido 02 usos de batería esto quiere decir que el plan de vuelo se ha dividido en 02 tiempos, esto no ha afectado la toma de datos fotográficos con el dron ya que donde se ha pausado el vuelo, el dron ha regresado al punto de partida para cambio de batería y luego regresando a la posición donde se capturó la última foto para continuar el plan de vuelo.
- Las fotos tomadas en el vuelo se almacenaron en la Micro SD del Dron Phantom 4 Pro que luego se procesaron en el software Pix4Dmapper para obtener la ortofoto de la superficie.
- Posteriormente se exportó la superficie obtenida en Pix4Dmapper a Autodesk Civil 3D la que cuenta con las curvas de nivel en el formato DWG.

3.5.3.1. Plan de vuelo:

Para la toma de fotografías de la zona de estudio se realizó 01 vuelo fotogramétrico, con un piloto del dron (Tesista) y 01 auxiliar de topografía, el vuelo tuvo una duración de 23 minutos.

- Se ingresó a la web de DroneDeploy (www.dronedeploy.com)

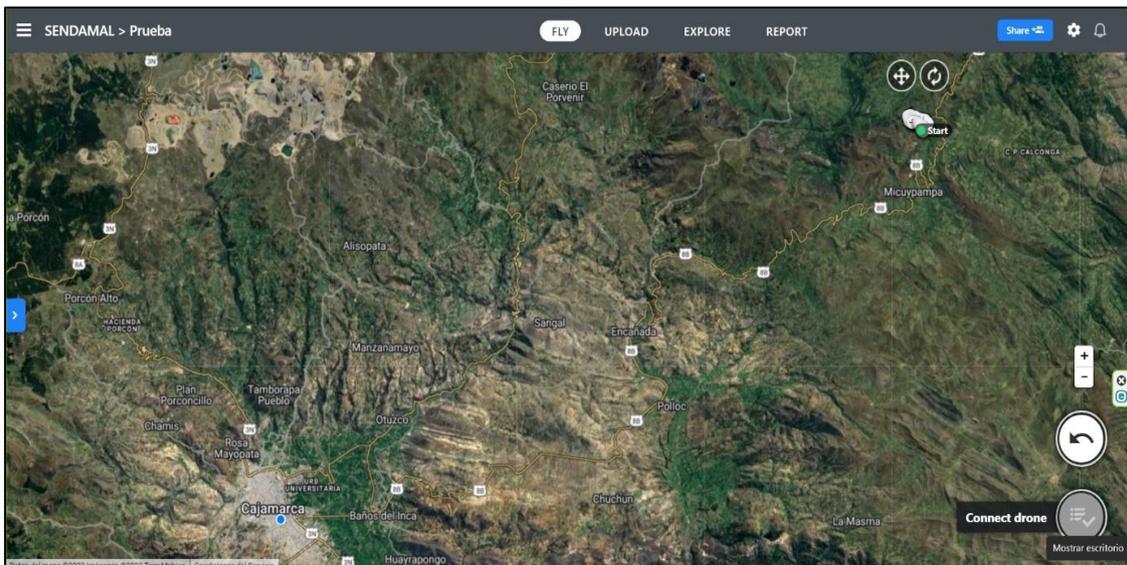
Figura 30: Web de la aplicación Dron Deploy.



Nota: Tomado de www.dronedeploy.com.

- Se identificó la zona de trabajo.

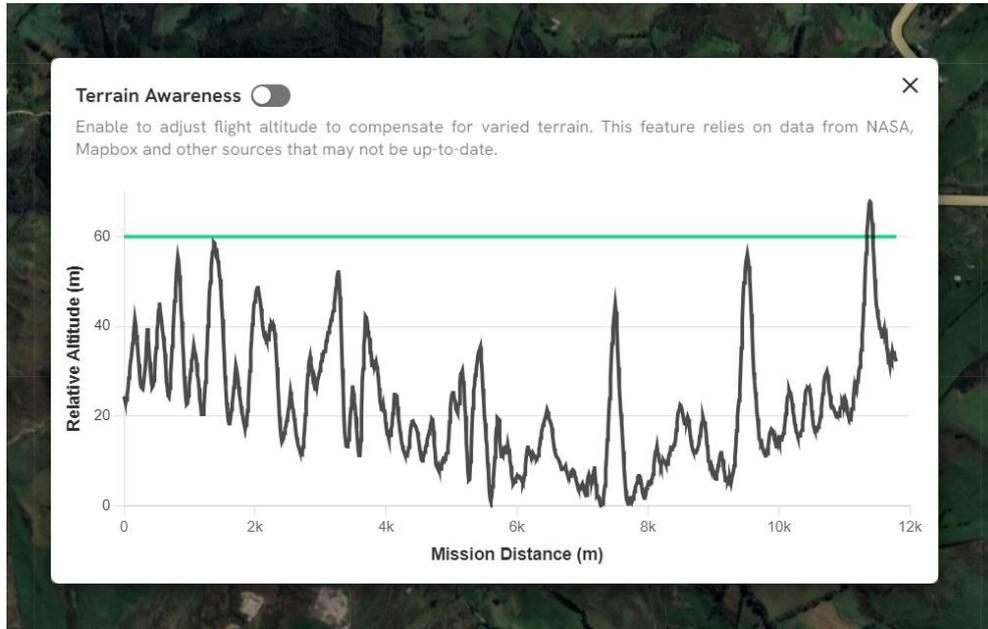
Figura 31: Identificación de la zona de trabajo – Microempresa Sendamal.



Nota: Tomado de aplicación DroneDeploy.

- Se definió el perímetro de la zona y características del vuelo.

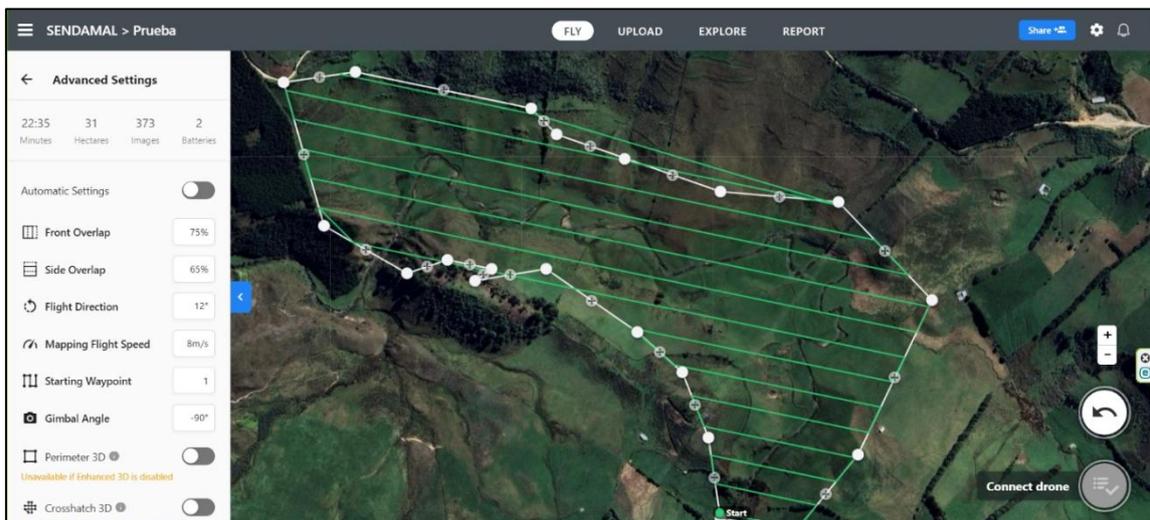
Figura 32: Perfil longitudinal del plan de vuelo de drone Phantom 4 Pro H=60m.



Nota: Tomado de aplicación DroneDeploy.

Este perfil se genera para identificar los obstáculos del terreno al sobrevolar el dron.

Figura 33: Definición del perímetro y características del vuelo.



Nota: Tomado de aplicación DroneDeploy.

- Se modificaron los parámetros Front Overlap = 75%, Side Overlap = 65% y una Velocidad = 8m/s y posteriormente se inició el plan de vuelo.

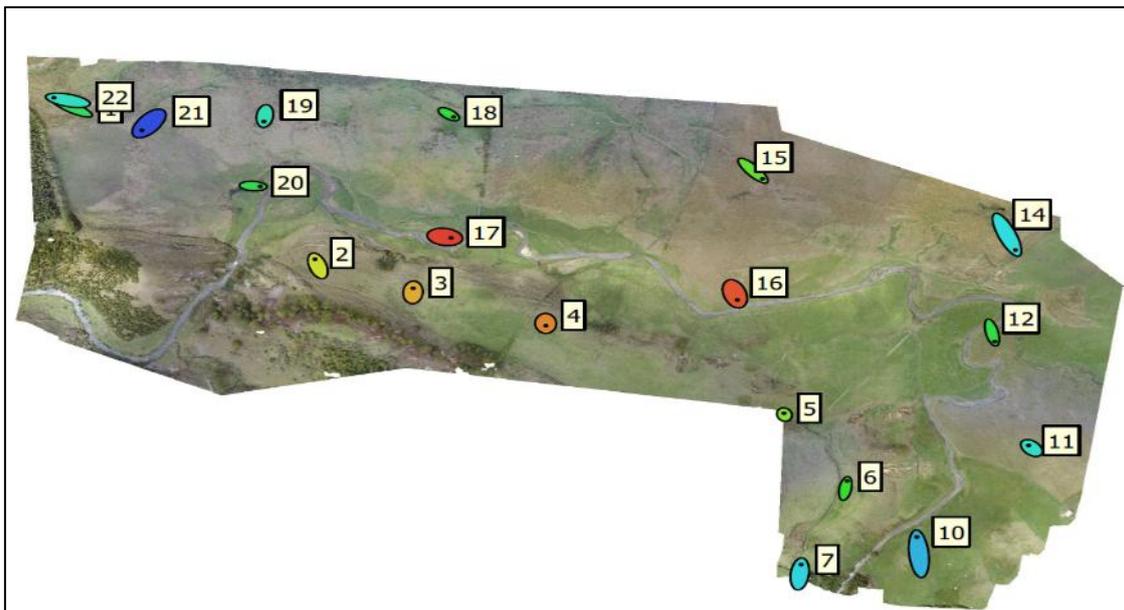
Figura 34: Programación de drone para iniciar la fotogrametría.



3.5.3.2. Puntos topográficos:

Para lograr georreferenciar las imágenes se midieron las coordenadas x,y,z de los puntos de control, en total se midieron 24 puntos con la ayuda del equipo Trimble R8, de los cuales 18 se utilizaron para el procesamiento en función a las 26.79Has.

Figura 35: Gráfica de puntos de control.



3.5.3.3. Toma de fotografías:

En esta fase se tomaron las fotos (imágenes), según el plan de vuelo utilizando la aplicación drone deploy.

- **Nota:** Las imágenes (fotos) tomadas por el drone se procesaron obteniendo en conjunto la ortofoto en formato digital.

Figura 36: Toma de imágenes de Plan de Vuelo.



En base a los puntos de control graficados en el terreno del área de estudio se procesó los 18 puntos que delimitan las 26.79Has, los cuales han sido empleados para el procesamiento fotogramétrico de la data del drone y la obtención de la ortofoto; de estos se han seleccionado los puntos que se encuentran destacados en color azul en la Tabla 7 y que han sido considerados para el análisis comparativo, estos puntos son los mismos con los cuales se ha generado la poligonal cerrada realizada con la estación total.

Tabla 7: *Puntos de Fotocontrol obtenidos con Trimble R8*

PUNTOS DE FOTOCONTROL			
PUNTO	ESTE (m)	NORTE (m)	COTA (m)
1	807741.569	9226016.895	3280.834
2	807976.311	9225818.225	3240.019
3	808066.017	9225781.589	3241.216
4	808187.035	9225734.433	3245.575
5	808404.373	9225624.270	3257.499
6	808461.978	9225538.956	3257.909
7	808420.039	9225433.627	3258.248
10	808525.766	9225468.230	3233.645
11	808627.779	9225583.730	3231.910
12	808596.774	9225714.658	3226.710
14	808615.657	9225830.005	3244.513
15	808384.797	9225919.528	3251.597
16	808361.820	9225767.059	3223.376
17	808100.418	9225845.140	3217.493
18	808102.940	9225997.474	3247.061
19	807929.745	9225991.724	3241.998
20	807926.328	9225909.825	3215.946
21	807818.427	9225980.699	3244.016
22	807738.110	9226021.551	3281.861
23	807734.073	9226028.239	3283.391
24	807734.067	9226028.234	3283.394

Seguidamente se corrigieron los puntos de control obtenidos en el Reporte de Calidad procesados en Pix4Dmapper.

Tabla 8: Errores obtenidos del Reporte de Calidad Pix4Dmapper

GCP Name	Accuracy XY/Z [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
2 (3D)	0.020/ 0.020	0.062	-0.067	-0.004	0.420	21 / 21
3 (3D)	0.020/ 0.020	0.026	-0.068	-0.034	0.480	17 / 17
4 (3D)	0.020/ 0.020	-0.007	-0.117	-0.016	0.402	15 / 15
5 (3D)	0.020/ 0.020	0.103	-0.042	-0.007	0.423	4 / 4
6 (3D)	0.020/ 0.020	0.054	-0.036	-0.024	0.463	12 / 12
7 (3D)	0.020/ 0.020	0.048	-0.039	-0.007	0.059	3 / 3
10 (3D)	0.020/ 0.020	-0.052	-0.088	0.038	0.355	15 / 15
11 (3D)	0.020/ 0.020	-0.125	-0.030	0.011	0.427	17 / 17
12 (3D)	0.020/ 0.020	-0.094	0.056	-0.025	0.486	27 / 27
14 (3D)	0.020/ 0.020	-0.033	0.107	-0.022	0.524	10 / 10
15 (3D)	0.020/ 0.020	0.003	0.161	-0.008	0.495	11 / 11
16 (3D)	0.020/ 0.020	0.036	-0.032	-0.057	0.462	25 / 25
17 (3D)	0.020/ 0.020	-0.014	0.031	-0.006	0.399	31 / 31
18 (3D)	0.020/ 0.020	-0.012	0.165	-0.099	0.548	9 / 9
19 (3D)	0.020/ 0.020	0.022	0.087	-0.052	0.612	15 / 15
20 (3D)	0.020/ 0.020	0.004	-0.012	0.010	0.462	30 / 30
21 (3D)	0.020/ 0.020	0.024	0.010	-0.005	0.427	17 / 17
22 (3D)	0.020/ 0.020	0.006	0.002	-0.061	0.132	2 / 2
Mean [m]		0.002861	0.004850	-0.020396		
Sigma [m]		0.053240	0.079241	0.030627		
RMS Error [m]		0.053317	0.079389	0.036797		

Nota: Tomado de software Pix4D.

3.4.4. Levantamiento topográfico con estación total:

Para realizar el levantamiento topográfico se utilizó la estación total marca Leica TS 06 Plus 5" y se procedió como se detalla a continuación:

- Primero se ubicó el BM-1 y BM-2 con ayuda del Trimble R-8 que sirvieron para la georeferenciación de las estaciones.
- Luego nos posicionamos (estacionamos) en una ubicación donde se logró visualizar la mayor parte del área del estudio.
- Posteriormente se ingresó a la estación las coordenadas obtenidas del Trimble R-8.
- Se realizó la radiación de puntos en la microrepresa, así mismo se consideró un cambio de estación que permitió radiar los puntos de control que sirvieron para realizar el análisis comparativo.
- El levantamiento topográfico, se realizó con 01 topógrafo (Tesisista) y 03 auxiliares de topografía.

Figura 37: *Estacionamiento y orientación para iniciar a radiar los puntos.*



Figura 38: *Toma de puntos con estación total Leica TS06 Plus 5"*



Figura 39: *Radiación de puntos*

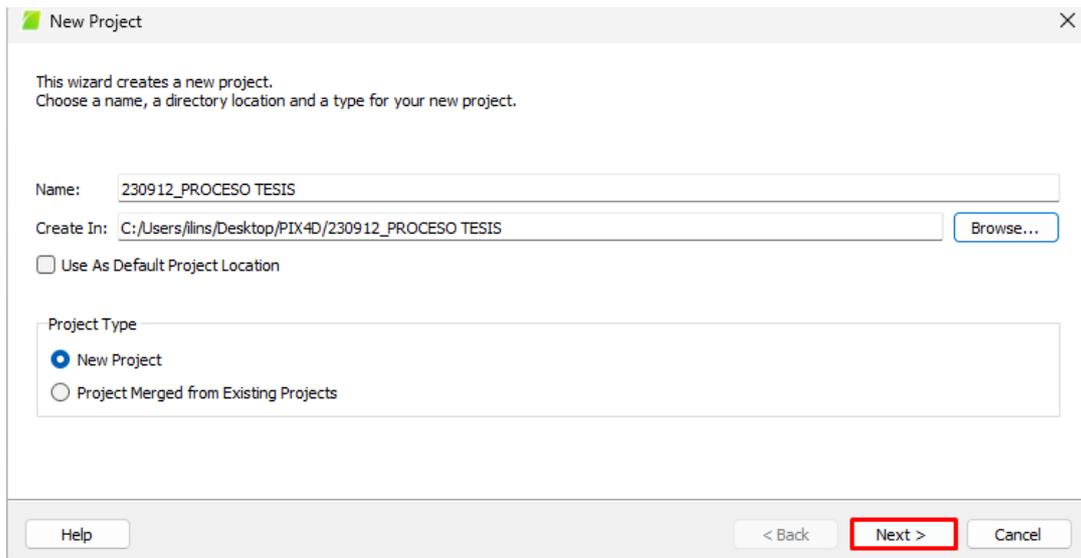


3.4.5. Procesamiento de datos:

Para el procesamiento de datos tomados por el dron Phamton 4 se realizó después de haber concluido el plan de vuelo e importando las fotos a software Pix4Dmapper, se definieron los parámetros para realizar la nube de puntos y posteriormente se seleccionó el área a ser analizada en nuestro caso se definió un área de 26.79Has donde se especificaron los puntos de control para referencias, posteriormente se exportó como Ortofoto y archivo DWG el cual se utilizó para el análisis comparativo con ayuda del software Autodesk Civil 3D versión 2018.

1. Creación del Nuevo Proyecto en Pix4D, se anota el nombre del proyecto y la ruta de la carpeta.

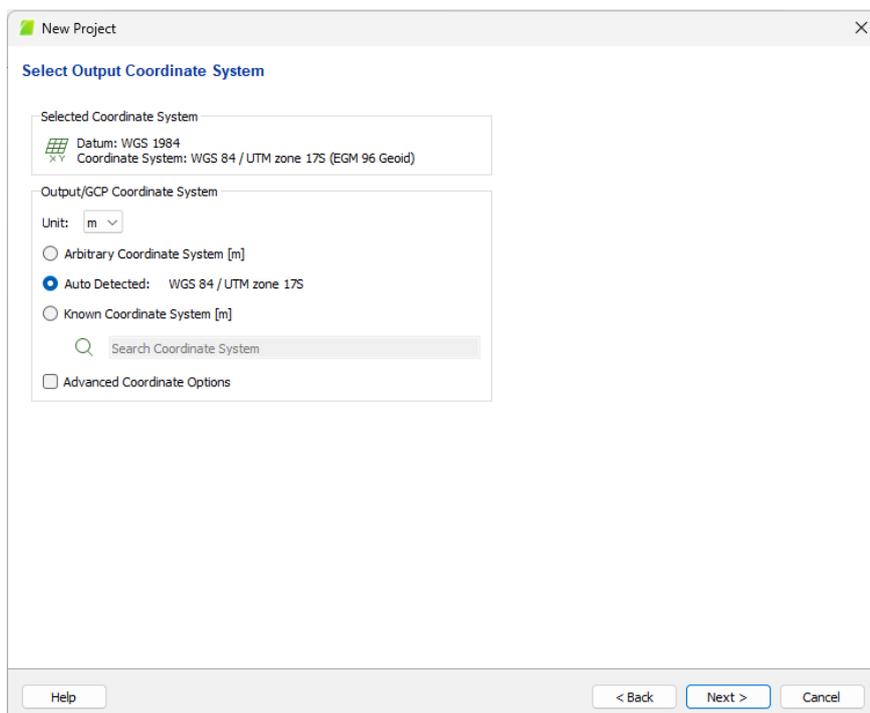
Figura 40: Creación de proyecto



Nota: Tomado de software Pix4D.

2. Selección de imágenes (fotografías) y sistema de coordenadas.

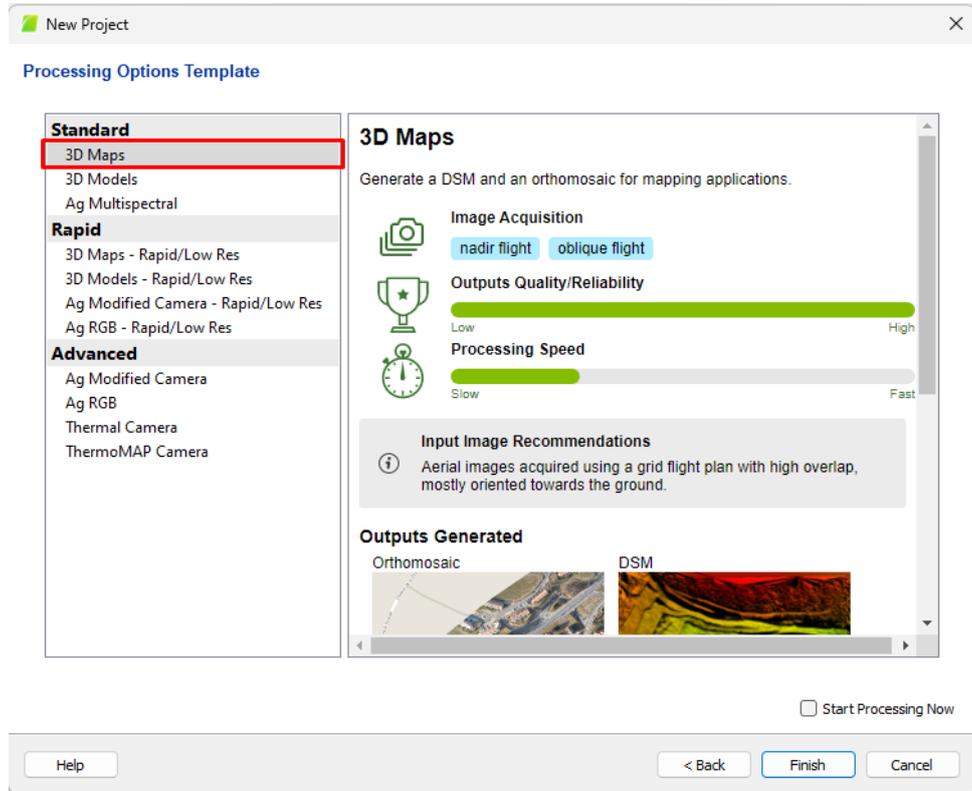
Figura 41: Importación de fotografías y definición de parámetros.



Nota: Tomado de software Pix4D.

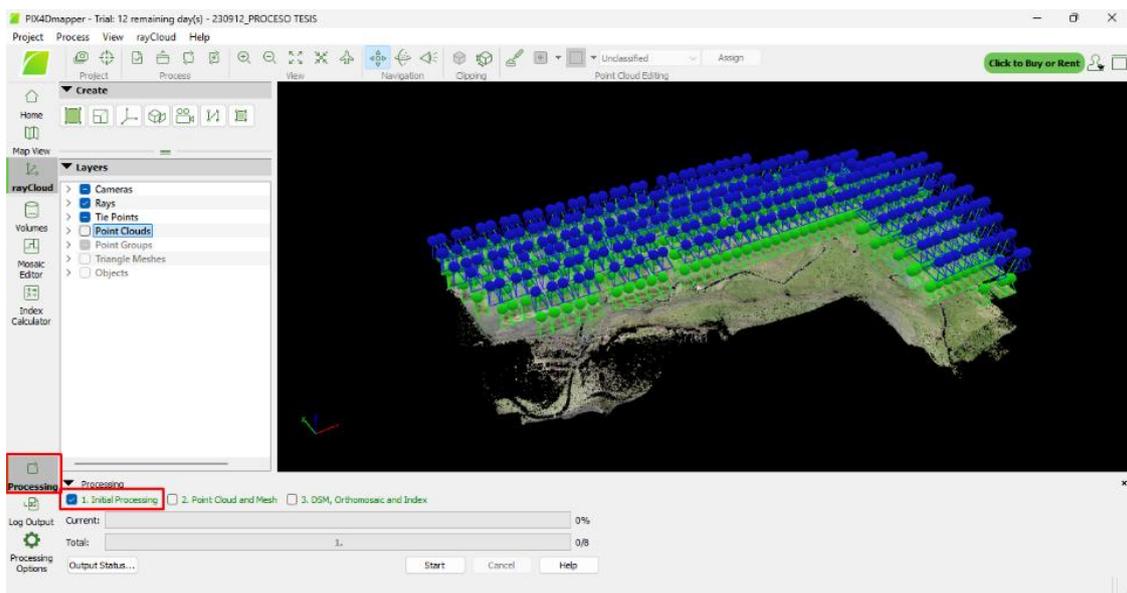
3. Selección del modo de procesamiento

Figura 42: Modo de procesamiento



Nota: Tomado de software Pix4D.

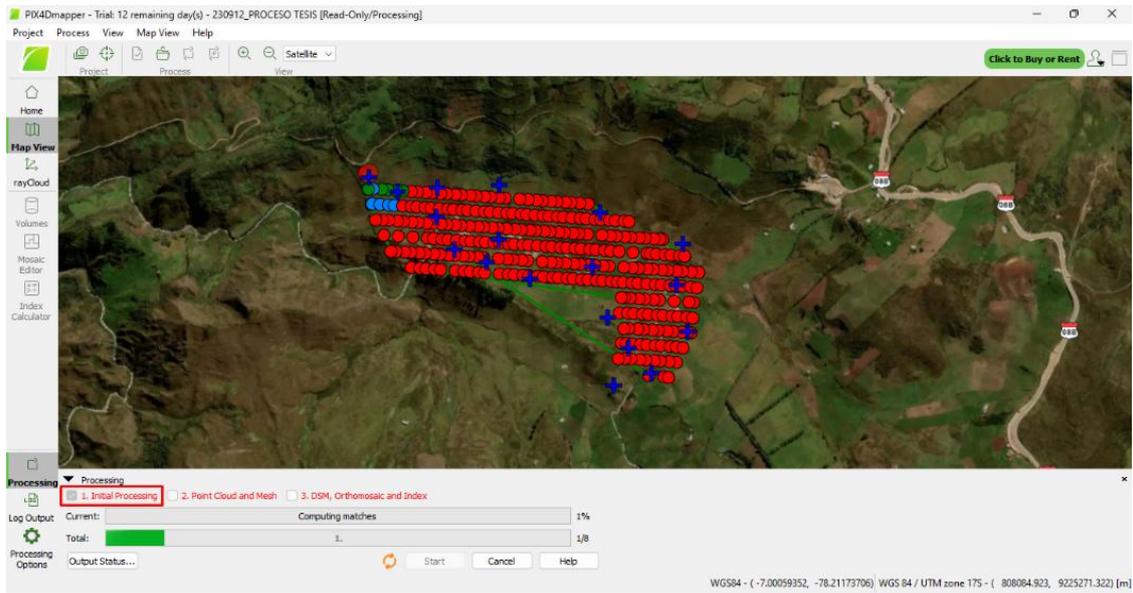
Figura 43: Nube de puntos



Nota: Tomado de software Pix4D.

4. Malla de puntos

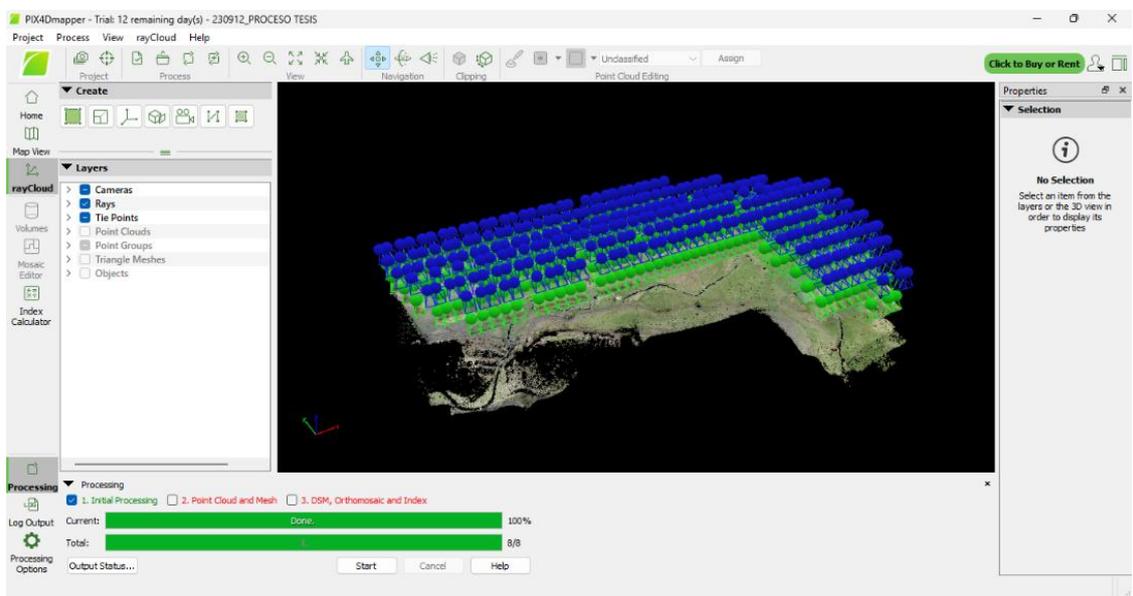
Figura 44: Malla de puntos



Nota: Tomado de software Pix4D.

5. Procesamiento de nube de puntos

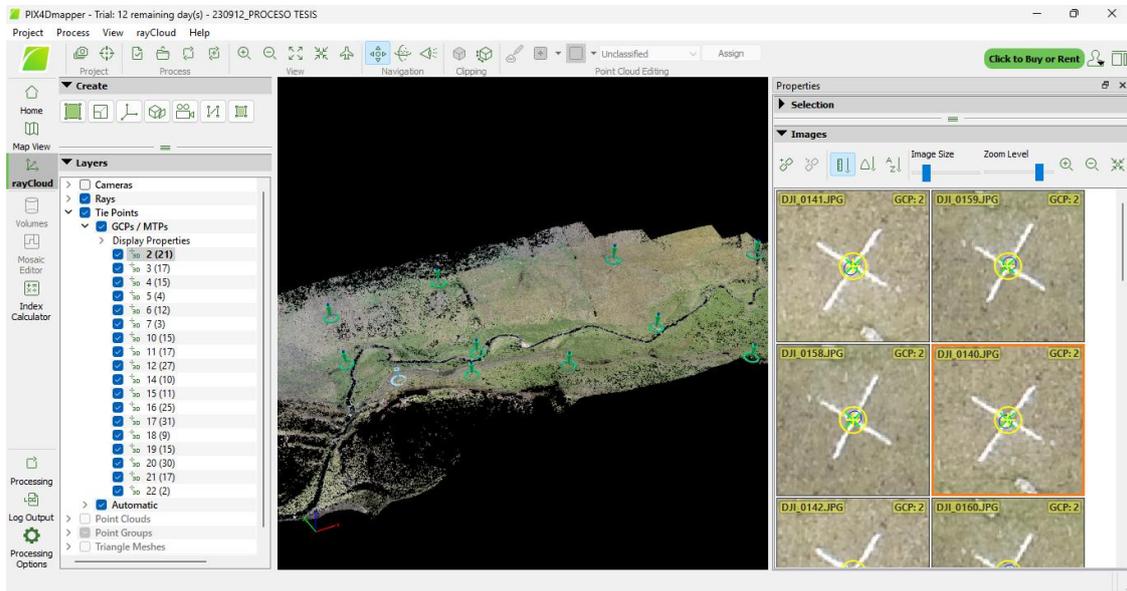
Figura 45: Procesamiento de nube de puntos



Nota: Tomado de software Pix4D.

6. Georeferenciación y reoptimización de imágenes de acuerdo con los puntos de control.

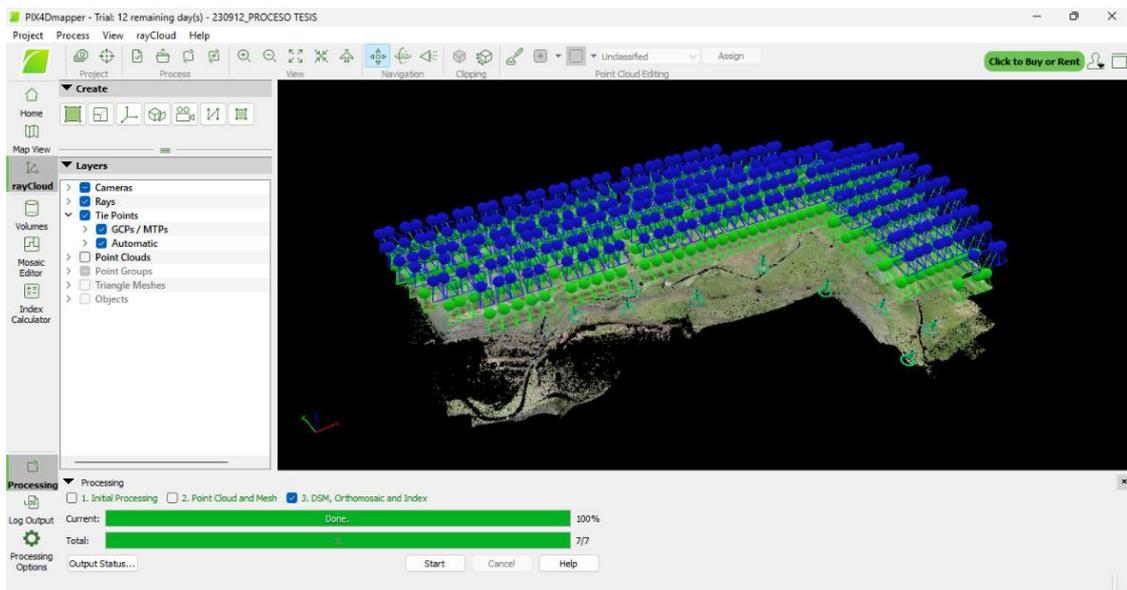
Figura 46: Georeferenciación y reoptimización de Puntos de control



Nota: Tomado de software Pix4D.

7. Finalización de proceso

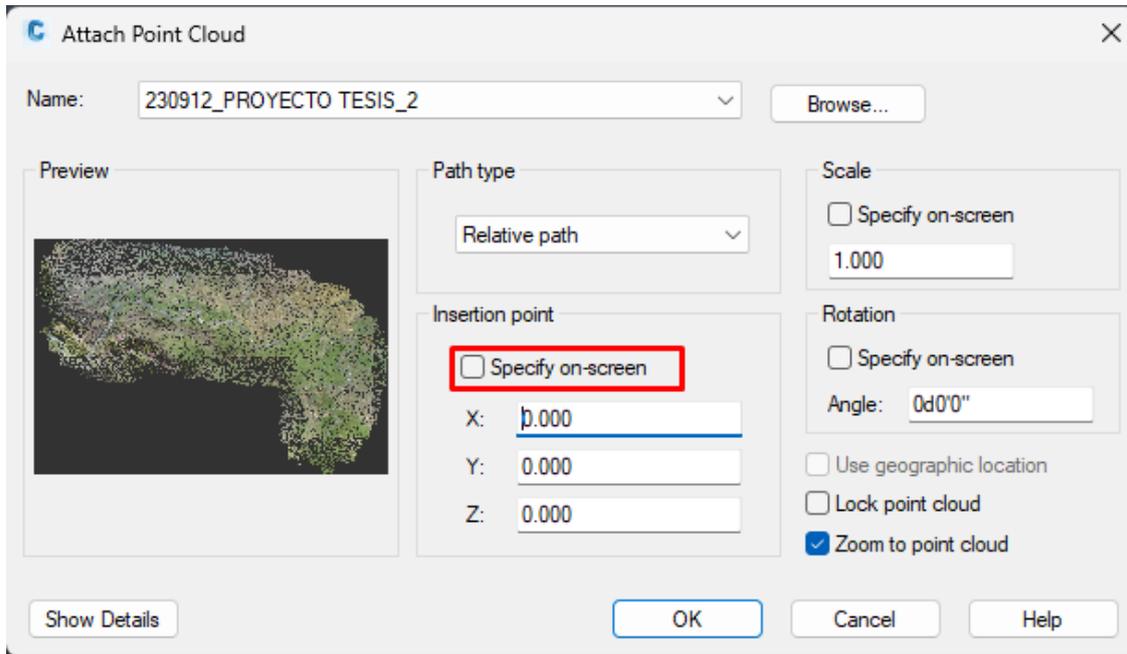
Figura 47: Procesamiento finalizado



Nota: Tomado de software Pix4D.

8. Importación a Civil 3D

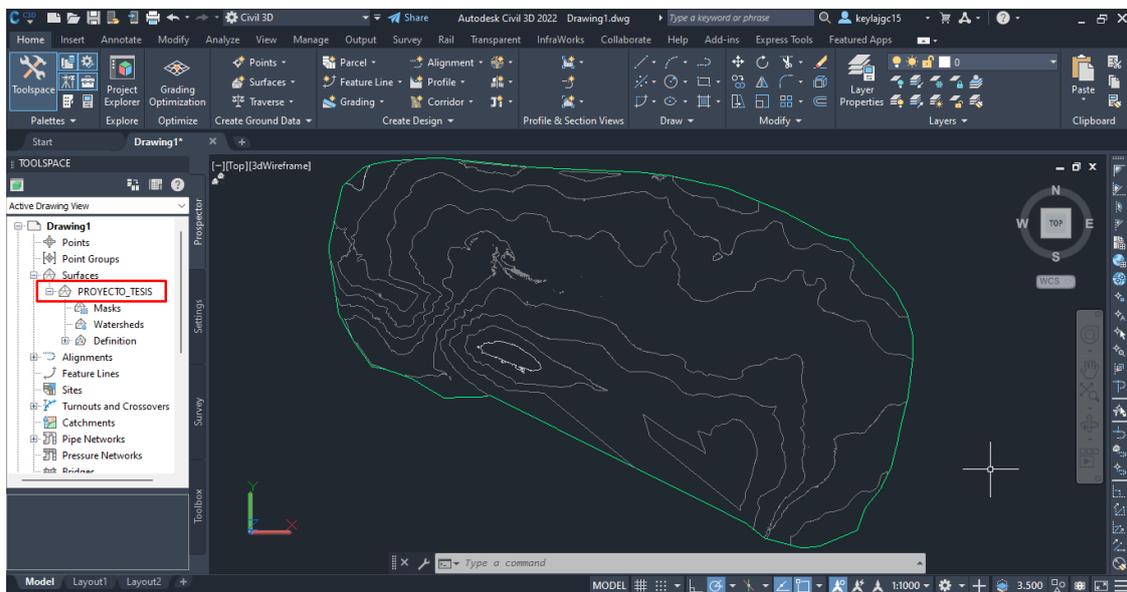
Figura 48: Importación a Civil 3D



Nota: Tomado de software Civil 3D.

9. Superficie en Civil 3D

Figura 49: Superficie importada en Civil 3D



Nota: Tomado de software Civil 3D.

Para el procesamiento de datos tomados por la estación total se exportaron los datos del equipo en el formato que para nuestro trabajo de investigación fue texto (.TXT) a través de un USB que se conecta en la estación TS06 PLUS 5". Luego se importó en el software Autodesk Civil 3D versión 2018 para generar la superficie con los parámetros deseados, finalmente se obtuvieron las curvas de nivel las cuales sirvieron para el análisis comparativo de la precisión de ambos equipos.

En el procesamiento que se usó en ambos equipos se logró analizar el perfil longitudinal del río de la Microrepresa Sendamal como aporte en el desarrollo del trabajo de investigación.

3.4.6. Cálculo de coordenadas corregidas obtenidas del dron:

Del procesamiento de datos obtenidos con el dron se procedió a verificar el error obtenido por este, los cuales se muestran en el reporte de calidad del Software Pix4Dmapper.

Figura 50: Reporte de calidad Pix4Dmapper

Quality Report

Generated with PIX4Dmapper version 4.8.4

Important: Click on the different icons for:

- Help to analyze the results in the Quality Report
- Additional information about the sections

Click [here](#) for additional tips to analyze the Quality Report

Summary

Project	230912_PROCESO TESIS
Processed	2023-09-12 15:33:51
Camera Model Name(s)	FC6310_8.8_5472x3078 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	3.92 cm / 1.54 in
Area Covered	0.426 km ² / 42.6198 ha / 0.16 sq. mi. / 105.3704 acres

Nota: Tomado de software Pix4D.

Obtenido el reporte de calidad del software Pix4Dmapper se corrigieron los puntos de control que se compararon con los puntos obtenidos de la poligonal cerrada de la estación total.

Tabla 9: Errores de Pix4Dmapper

GCP Name	Accuracy XY/Z [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
2 (3D)	0.020/ 0.020	0.062	-0.067	-0.004	0.420	21 / 21
3 (3D)	0.020/ 0.020	0.026	-0.068	-0.034	0.480	17 / 17
4 (3D)	0.020/ 0.020	-0.007	-0.117	-0.016	0.402	15 / 15
5 (3D)	0.020/ 0.020	0.103	-0.042	-0.007	0.423	4 / 4
6 (3D)	0.020/ 0.020	0.054	-0.036	-0.024	0.463	12 / 12
7 (3D)	0.020/ 0.020	0.048	-0.039	-0.007	0.059	3 / 3
10 (3D)	0.020/ 0.020	-0.052	-0.088	0.038	0.355	15 / 15
11 (3D)	0.020/ 0.020	-0.125	-0.030	0.011	0.427	17 / 17
12 (3D)	0.020/ 0.020	-0.094	0.056	-0.025	0.486	27 / 27
14 (3D)	0.020/ 0.020	-0.033	0.107	-0.022	0.524	10 / 10
15 (3D)	0.020/ 0.020	0.003	0.161	-0.008	0.495	11 / 11
16 (3D)	0.020/ 0.020	0.036	-0.032	-0.057	0.462	25 / 25
17 (3D)	0.020/ 0.020	-0.014	0.031	-0.006	0.399	31 / 31
18 (3D)	0.020/ 0.020	-0.012	0.165	-0.099	0.548	9 / 9
19 (3D)	0.020/ 0.020	0.022	0.087	-0.052	0.612	15 / 15
20 (3D)	0.020/ 0.020	0.004	-0.012	0.010	0.462	30 / 30
21 (3D)	0.020/ 0.020	0.024	0.010	-0.005	0.427	17 / 17
22 (3D)	0.020/ 0.020	0.006	0.002	-0.061	0.132	2 / 2
Mean [m]		0.002861	0.004850	-0.020396		
Sigma [m]		0.053240	0.079241	0.030627		
RMS Error [m]		0.053317	0.079389	0.036797		

Nota: Tomado de software Pix4D.

Tabla 10: Puntos de Dron Phantom 4 Pro corregidos

PUNTOS DE DRON						
PUNTO	Error X (m)	ESTE (m)	Error Y (m)	NORTE (m)	Error Z (m)	COTA (m)
2	0.062	807976.373	-0.067	9225818.158	-0.004	3240.015
3	0.026	808066.043	-0.068	9225781.521	-0.034	3241.182
4	-0.007	808187.028	-0.117	9225734.316	-0.016	3245.559
5	0.103	808404.476	-0.042	9225624.228	-0.007	3257.492
6	0.054	808462.032	-0.036	9225538.920	-0.024	3257.885
7	0.048	808420.087	-0.039	9225433.588	-0.007	3258.241
10	-0.052	808525.714	-0.088	9225468.142	0.038	3233.683
11	-0.125	808627.654	-0.030	9225583.700	0.011	3231.921
12	-0.094	808596.680	0.056	9225714.714	-0.025	3226.685
16	0.036	808361.856	-0.032	9225767.027	-0.057	3223.319
17	-0.014	808100.404	0.031	9225845.171	-0.006	3217.487
19	0.022	807929.767	0.087	9225991.811	-0.052	3241.946
20	0.004	807926.332	-0.012	9225909.813	0.010	3215.956

Luego de realizar la corrección de los errores se obtiene el resumen de los puntos de control corregidos tomados por el dron y seleccionamos los puntos que coinciden con la poligonal cerrada de los puntos obtenidos por la estación TS06 PLUS 5" para realizar un análisis comparativo entre ambos.

Tabla 11: *Puntos de Dron Phantom 4 Pro corregidos*

PUNTOS DE DRON			
PUNTO	ESTE (m)	NORTE (m)	COTA (m)
2	807976.373	9225818.158	3240.015
3	808066.043	9225781.521	3241.182
4	808187.028	9225734.316	3245.559
5	808404.476	9225624.228	3257.492
6	808462.032	9225538.920	3257.885
7	808420.087	9225433.588	3258.241
10	808525.714	9225468.142	3233.683
11	808627.654	9225583.700	3231.921
12	808596.680	9225714.714	3226.685
16	808361.856	9225767.027	3223.319
17	808100.404	9225845.171	3217.487
19	807929.767	9225991.811	3241.946
20	807926.332	9225909.813	3215.956

3.4.7. Cálculo de coordenadas corregidas obtenidas de la estación total:

Del procesamiento de datos obtenidos con la estación total se procede a corregir mediante poligonal cerrada y compensar en la Tabla 13.

Tabla 12: Polígono de Estación Total

POLIGONAL CERRADA

- 1° Seleccionar Número de lados: n = 13
- 2° Azimut AB: 112° 12' 55"
- 3° Mínima división n limbo: 5"

- 4° Introduce los ángulos internos observados
- 5° Distribuye el error angular y digita las distancias respectivas a cada lado
- 6° Coloca coordenada total al punto A
- 7° Selecciona el rango de celdas para el gráfico del polígono



EST.	P.V.	ÁNGULO INTERNO OBSERVADO	CORRECCIÓN	ÁNGULOS CORREGIDOS	AZIMUT	N S	RUMBO	E W	E - sen - W N - cos - S	DISTANCIA (m)	PROYECCIONES				COORD. PARCIALES		COORD. TOTALES	
											E	W	N	S	ΔE	ΔN	E	N
2	3	140° 49' 32"	0.08"	140° 49' 32"	112° 12' 55"	S	67° 47' 05"	E	0.925769802 0.378087654	96.8995	↓ -0.0008 89.707			↓ -0.0004 36.637	89.706	-36.636	807976.311	9225818.225
3	4	179° 04' 59"	0.08"	179° 04' 59"	111° 17' 54"	S	68° 42' 06"	E	0.931701658 0.363224476	129.8819	↓ -0.0011 121.011			↓ -0.0005 47.176	121.010	-47.176	808066.017	9225781.589
4	5	185° 35' 25"	0.08"	185° 35' 25"	116° 53' 19"	S	63° 06' 41"	E	0.891887107 0.4522581	243.6631	↓ -0.0020 217.320			↓ -0.0013 110.199	217.318	-110.197	808187.027	9225734.413
5	6	209° 05' 35"	0.08"	209° 05' 35"	145° 58' 54"	S	34° 01' 06"	E	0.55945722 0.828859227	102.9408	↓ -0.0005 57.591			↓ -0.0010 85.323	57.590	-85.322	808404.345	9225624.216
6	7	235° 44' 19"	0.08"	235° 44' 19"	201° 43' 13"	S	21° 43' 13"	W	0.370076953 0.929001103	113.3714		↑ 0.0004 41.956		↓ -0.0012 105.322	-41.957	-105.321	808461.935	9225538.893
7	10	50° 09' 59"	0.08"	50° 09' 59"	71° 53' 12"	N	71° 53' 12"	E	0.950443988 0.310895844	111.2455	↓ -0.0010 105.733		↑ 0.0004 34.586		105.732	34.586	808419.979	9225433.572
10	11	149° 34' 28"	0.08"	149° 34' 28"	41° 27' 40"	N	41° 27' 40"	E	0.662113227 0.749403813	154.0920	↓ -0.0010 102.026		↑ 0.0013 115.477		102.025	115.478	808525.710	9225468.159
11	12	125° 13' 31"	0.08"	125° 13' 31"	346° 41' 12"	N	13° 18' 48"	W	0.230278377 0.973124796	134.5491		↑ 0.0003 30.984	↑ 0.0015 130.933		-30.984	130.935	808627.736	9225583.637
12	16	115° 53' 44"	0.08"	115° 53' 44"	282° 34' 56"	N	77° 25' 04"	W	0.975984807 0.217838603	240.7265		↑ 0.0022 234.945	↑ 0.0006 52.440		-234.948	52.440	808596.752	9225714.572
16	17	184° 03' 30"	0.08"	184° 03' 30"	286° 38' 26"	N	73° 21' 34"	W	0.958120543 0.286365194	272.8143		↑ 0.0025 261.389	↑ 0.0009 78.125		-261.391	78.125	808361.804	9225767.012
17	19	204° 01' 37"	0.08"	204° 01' 37"	310° 40' 03"	N	49° 19' 57"	W	0.758504834 0.651667412	224.9803		↑ 0.0016 170.649	↑ 0.0017 146.612		-170.650	146.614	808100.413	9225845.137
19	20	51° 43' 52"	0.08"	51° 43' 52"	182° 23' 55"	S	2° 23' 55"	W	0.041850689 0.999123876	81.9703		↑ 0.0000 3.431		↓ -0.0010 81.898	-3.431	-81.898	807929.762	9225991.751
20		148° 59' 28"	0.08"	148° 59' 28"	151° 23' 23"	S	28° 36' 37"	E	0.478849671 0.877896914	104.3745	↓ -0.0005 49.980			↓ -0.0011 91.630	49.979	-91.629	807926.332	9225909.854
Σ		1979° 59' 59"	1"	1980° 00' 00"						2011.51	743.367	743.353	558.172	558.186	0.000	0.000		
												0.014		-0.013				

$$E_c = \frac{1}{13}'' = 0.1''$$

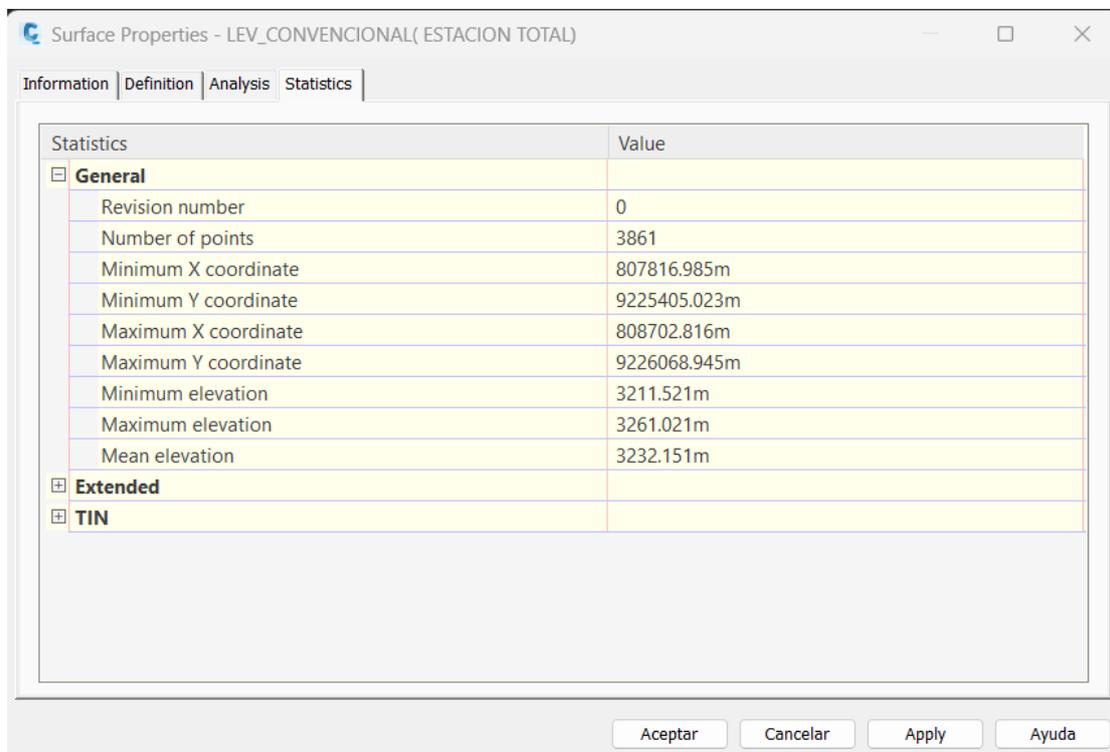
Ec Angular máx: ±18"

Error cierre lineal: 0.019
Error Relativo: 1 / 105,287

Tabla 13: Puntos corregidos de Estación Total Leica TS06 Plus 5”

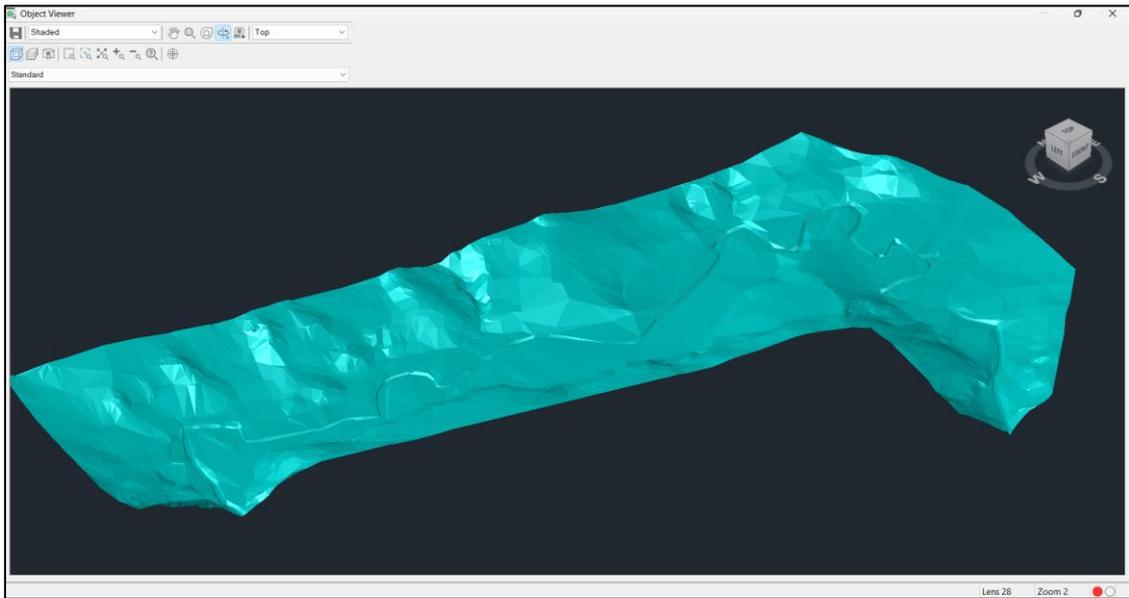
PUNTOS DE ESTACIÓN TOTAL			
PUNTO	ESTE (m)	NORTE (m)	COTA (m)
2	807976.311	9225818.225	3240.019
3	808066.017	9225781.589	3241.215
4	808187.027	9225734.413	3245.572
5	808404.345	9225624.216	3257.496
6	808461.935	9225538.893	3257.911
7	808419.979	9225433.572	3258.249
10	808525.710	9225468.159	3233.646
11	808627.736	9225583.637	3231.908
12	808596.752	9225714.572	3226.705
16	808361.804	9225767.012	3223.380
17	808100.413	9225845.137	3217.495
19	807929.762	9225991.751	3241.994
20	807926.332	9225909.854	3215.947

Figura 51: Datos Generales de la Superficie Civil 3D Leica TS06 Plus 5”



Nota: Tomado de software Civil 3D.

Figura 52: Superficie en Civil 3D Leica TS06 Plus 5”



Nota: Tomado de software Civil 3D.

CAPITULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se realizará el análisis, comparación e interpretación de resultados obtenidos del procesamiento de los datos obtenidos del levantamiento fotogramétrico con Drone y el levantamiento topográfico con Estación Total ambos comparados con los datos obtenidos con el uso de GPS Diferencial de tal manera que se tenga un valor que sirve como valor relativo.

Los resultados corregidos del levantamiento fotogramétrico realizado con un Drone serán contrastados respecto a los resultados obtenidos con el GPS Diferencial de la misma forma los resultados corregidos del levantamiento topográfico realizado con Estación Total serán contrastados con los obtenidos con el GPS Diferencial para que finalmente obtenidos ambos resultados se puedan comparar entre sí y se obtenga la precisión de los dos equipos con respecto a un tercero que sería el GPS Diferencial.

4.1 Análisis para la variable precisión del levantamiento topográfico:

Se analizó la precisión obtenida del levantamiento topográfico realizado con dron Phantom 4 Pro, respecto a la precisión obtenida de un levantamiento topográfico con estación total Leica TS06 Plus 5" teniendo como base para ambos los datos obtenidos del Trimble R-8.

La variable precisión mide los errores obtenidos al realizar el levantamiento topográfico de la microrepresa Sendamal, utilizando Estación total y Drone, para el presente estudio se han considerado determinar la precisión a partir del error medio cuadrático.

4.2 Análisis de la Variable X, Y y Z

Se evaluaron las 03 variables procedentes de la toma de datos por el dron y estación total y se realizó el posterior análisis estadístico con **Prueba "t" Student** para la contrastación de la hipótesis.

Tabla 14: Errores absolutos en x,y,z del levantamiento con Dron Phantom 4 Pro respecto a Puntos de Control Trimble R-8.

PUNTO	VALOR REAL (Trimble R-8)			VALOR MEDIDO (Dron Phantom 4 Pro)			Errores absolutos		
	ESTE (m)	NORTE (m)	COTA (m)	ESTE (m)	NORTE (m)	COTA (m)	Error X (m)	Error Y (m)	Error Z (m)
2	807976.311	9225818.225	3240.019	807976.373	9225818.158	3240.015	0.062	-0.067	-0.004
3	808066.017	9225781.589	3241.216	808066.043	9225781.521	3241.182	0.026	-0.068	-0.034
4	808187.035	9225734.433	3245.575	808187.028	9225734.316	3245.559	-0.007	-0.117	-0.016
5	808404.373	9225624.270	3257.499	808404.476	9225624.228	3257.492	0.103	-0.042	-0.007
6	808461.978	9225538.956	3257.909	808462.032	9225538.920	3257.885	0.054	-0.036	-0.024
7	808420.039	9225433.627	3258.248	808420.087	9225433.588	3258.241	0.048	-0.039	-0.007
10	808525.766	9225468.230	3233.645	808525.714	9225468.142	3233.683	-0.052	-0.088	0.038
11	808627.779	9225583.730	3231.910	808627.654	9225583.700	3231.921	-0.125	-0.030	0.011
12	808596.774	9225714.658	3226.710	808596.680	9225714.714	3226.685	-0.094	0.056	-0.025
16	808361.820	9225767.059	3223.376	808361.856	9225767.027	3223.319	0.036	-0.032	-0.057
17	808100.418	9225845.140	3217.493	808100.404	9225845.171	3217.487	-0.014	0.031	-0.006
19	807929.745	9225991.724	3241.998	807929.767	9225991.811	3241.946	0.022	0.087	-0.052
20	807926.328	9225909.825	3215.946	807926.332	9225909.813	3215.956	0.004	-0.012	0.010
Error Probable							0.048	0.042	0.016
Error medio aritmético							0.050	0.054	0.022
Error medio cuadrático							0.062	0.061	0.028

Se calculan los errores medios cuadráticos ya que los errores más grandes adquieren mayor relevancia y son los que se utilizan en topografía.

Tabla 15: Errores absolutos en x,y,z de levantamiento con Estación Total Leica TS06 Plus 5" respecto a Puntos de Control Trimble R-8.

PUNTO	VALOR REAL (Trimble R-8)			VALOR MEDIDO (Estación Total Leica TS06 Plus 5")			Errores absolutos		
	ESTE (m)	NORTE (m)	COTA (m)	ESTE (m)	NORTE (m)	COTA (m)	Error X (m)	Error Y (m)	Error Z (m)
2	807976.311	9225818.225	3240.019	807976.311	9225818.225	3240.019	0.000	0.000	0.000
3	808066.017	9225781.589	3241.216	808066.017	9225781.589	3241.215	0.000	0.000	-0.001
4	808187.035	9225734.433	3245.575	808187.027	9225734.413	3245.572	-0.008	-0.020	-0.003
5	808404.373	9225624.270	3257.499	808404.345	9225624.216	3257.496	-0.028	-0.054	-0.003
6	808461.978	9225538.956	3257.909	808461.935	9225538.893	3257.911	-0.043	-0.063	0.002
7	808420.039	9225433.627	3258.248	808419.979	9225433.572	3258.249	-0.060	-0.055	0.001
10	808525.766	9225468.230	3233.645	808525.710	9225468.159	3233.646	-0.056	-0.071	0.001
11	808627.779	9225583.730	3231.910	808627.736	9225583.637	3231.908	-0.043	-0.093	-0.002
12	808596.774	9225714.658	3226.710	808596.752	9225714.572	3226.705	-0.022	-0.086	-0.005
16	808361.820	9225767.059	3223.376	808361.804	9225767.012	3223.380	-0.016	-0.047	0.004
17	808100.418	9225845.140	3217.493	808100.413	9225845.137	3217.495	-0.005	-0.003	0.002
19	807929.745	9225991.724	3241.998	807929.762	9225991.751	3241.994	0.017	0.027	-0.004
20	807926.328	9225909.825	3215.946	807926.332	9225909.854	3215.947	0.004	0.029	0.001
Error Probable							0.017	0.047	0.002
Error medio aritmético							0.023	0.042	0.002
Error medio cuadrático							0.031	0.052	0.003

Se calculan los errores medios cuadráticos ya que los errores más grandes adquieren mayor relevancia y son los que se utilizan en topografía.

4.3 Contratación de hipótesis

Según los resultados obtenidos se demuestra la hipótesis general:

Posterior a la toma de lecturas, corrección de datos y finalmente comparándolas con los puntos de control de ambos equipos se realizó el análisis estadístico descriptivo e inferencia, teniendo en cuenta que error permisible o nivel de confianza no debe de superar el 5%.

El análisis estadístico descriptivo realizado es cualitativo de forma porcentual y el tratamiento estadístico inferencial será cuantitativo mediante la **Prueba “t” Student** propuesta por William Sealy Gosset en 1908, la cual se aplicará independientemente a las lecturas de Este, Norte y Elevación.

Prueba “t” Student

Planteamiento de hipótesis:

Hipótesis Nula (H_0), $H_0: u_1 = u_2 \rightarrow$ No existe diferencia entre las muestras.

Hipótesis Alternativa (H_1), $H_1: u_1 \neq u_2 \rightarrow$ Existe diferencia entre las muestras.

Fórmulas:

$$t = \frac{\bar{x}_1 + \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{S_c^2}{n_1} + \frac{S_c^2}{n_2}}}$$

$$S_c^2 = \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 + 2}$$

Donde:

t: Estadístico calculado

\bar{x}_1, \bar{x}_2 : Medias muestrales

S_c^2 : Varianza común

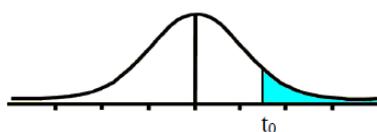
Que sigue una distribución “t” con g. lib. = n_1+n_2-2 , grados de libertad

Se rechaza la hipótesis nula (H_0) si $t > t$ crítico,

$$t_c = (1 - \frac{\alpha}{2})(n_1 + n_2 - 2)$$

Nivel de confianza o significancia $\alpha = 0.05$ o 5%

Tabla t-Student



Grados de libertad	0.25	0.1	0.05	0.025	0.01	0.005
1	1.0000	3.0777	6.3137	12.7062	31.8210	63.6559
2	0.8165	1.8856	2.9200	4.3027	6.9645	9.9250
3	0.7649	1.6377	2.3534	3.1824	4.5407	5.8408
4	0.7407	1.5332	2.1318	2.7765	3.7469	4.6041
5	0.7267	1.4759	2.0150	2.5706	3.3649	4.0321
6	0.7176	1.4398	1.9432	2.4469	3.1427	3.7074
7	0.7111	1.4149	1.8946	2.3646	2.9979	3.4995
8	0.7064	1.3968	1.8595	2.3060	2.8965	3.3554
9	0.7027	1.3830	1.8331	2.2622	2.8214	3.2498
10	0.6998	1.3722	1.8125	2.2281	2.7638	3.1693
11	0.6974	1.3634	1.7959	2.2010	2.7181	3.1058
12	0.6955	1.3562	1.7823	2.1788	2.6810	3.0545
13	0.6938	1.3502	1.7709	2.1604	2.6503	3.0123
14	0.6924	1.3450	1.7613	2.1448	2.6245	2.9768
15	0.6912	1.3406	1.7531	2.1315	2.6025	2.9467
16	0.6901	1.3368	1.7459	2.1199	2.5835	2.9208
17	0.6892	1.3334	1.7396	2.1098	2.5669	2.8982
18	0.6884	1.3304	1.7341	2.1009	2.5524	2.8784
19	0.6876	1.3277	1.7291	2.0930	2.5395	2.8609
20	0.6870	1.3253	1.7247	2.0860	2.5280	2.8453
21	0.6864	1.3232	1.7207	2.0796	2.5176	2.8314
22	0.6858	1.3212	1.7171	2.0739	2.5083	2.8188
23	0.6853	1.3195	1.7139	2.0687	2.4999	2.8073
24	0.6848	1.3178	1.7109	2.0639	2.4922	2.7970
25	0.6844	1.3163	1.7081	2.0595	2.4851	2.7874

Resumen de resultados:

	Este	Norte	Elevación
Sc2	65239.35	28812.89	214.80
t	-0.0002480	-0.0000913	0.0022213
g.lib	24	24	24
a	0.05	0.05	0.05
tc	2.0639	2.0639	2.0639
p-valor	0.999804	0.999928	0.998246

Como se puede apreciar las muestras son similares y cumplen con la Hipótesis Nula (H_0), $H_0: u_1 = u_2 \rightarrow$ No existe diferencia entre las muestras donde $t = -0.0002480$; $t = -0.0000913$; $t = 0.0022213$ las cuales se encuentran dentro de la zona de aceptación ($t_c = 2.0639$)

Análisis cualitativo de las lecturas del Dron y Estación Total:

Tabla 16: Errores relativos x,y,z de Dron Phantom 4 Pro y Estación Total Leica TS06 Plus 5”.

PUNTO	VALOR MEDIDO (Trimble R-8)			Error relativo – Phantom 4 Pro			Errores relativos – Leica TS06 Plus 5”		
	ESTE (m)	NORTE (m)	COTA (m)	Error X (‰)	Error Y (‰)	Error Z (‰)	Error X (‰)	Error Y (‰)	Error Z (‰)
2	807976.311	9225818.225	3240.019	0.000077	-0.000007	-0.00124	0.000000	0.000000	0.00000
3	808066.017	9225781.589	3241.216	0.000032	-0.000007	-0.01049	0.000000	0.000000	-0.00031
4	808187.035	9225734.433	3245.575	-0.000009	-0.000013	-0.00493	-0.000010	-0.000002	-0.00092
5	808404.373	9225624.270	3257.499	0.000127	-0.000005	-0.00215	-0.000035	-0.000006	-0.00092
6	808461.978	9225538.956	3257.909	0.000067	-0.000004	-0.00737	-0.000053	-0.000007	0.00061
7	808420.039	9225433.627	3258.248	0.000059	-0.000004	-0.00215	-0.000074	-0.000006	0.00031
10	808525.766	9225468.230	3233.645	-0.000064	-0.000010	0.01175	-0.000069	-0.000008	0.00031
11	808627.779	9225583.730	3231.910	-0.000155	-0.000003	0.00340	-0.000053	-0.000010	-0.00062
12	808596.774	9225714.658	3226.710	-0.000116	0.000006	-0.00775	-0.000027	-0.000009	-0.00155
16	808361.820	9225767.059	3223.376	0.000045	-0.000003	-0.01768	-0.000020	-0.000005	0.00124
17	808100.418	9225845.140	3217.493	-0.000017	0.000003	-0.00187	-0.000006	0.000000	0.00062
19	807929.745	9225991.724	3241.998	0.000027	0.000009	-0.01604	0.000021	0.000000	-0.00123
20	807926.328	9225909.825	3215.946	0.000005	-0.000001	0.00311	0.000005	0.000003	0.00031
Error relativo medio				0.000059	0.000005	0.00493	0.000021	0.000005	0.00062

De la Tabla 16 se observó que los errores relativos (en tanto por mil) de las mediciones efectuadas tanto con el Dron Phantom 4 Pro como con Estación Total Leica TS06 Plus 5” en x, y, z se encuentran por debajo del 1% por lo cual se consideran a los valores medidos como aceptables.

A. Precisión

Posterior al análisis de la evaluación de los errores de lectura de Dron Phantom 4 Pro vs Leica Ts06 Plus 5" se evalúa el error de ambos equipos con respecto a los puntos de control para tener un comparativo respecto a otro equipo el cual es neutral para ambos siendo este el Trimble R-8.

Tabla 17: Resumen de Errores Absolutos de la Estación Total Leica TS06 Plus 5" vs Dron Phantom 4 Pro.

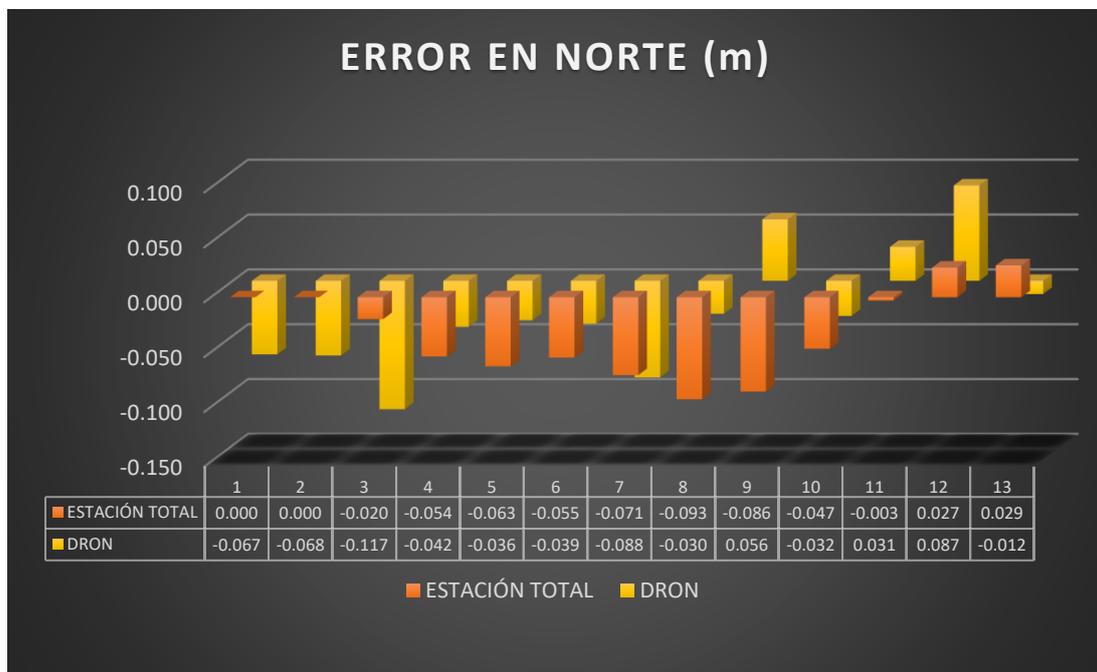
PUNTO	Estación Total Leica TS06 Plus 5"			Dron Phantom 4 Pro		
	Error X (m)	Error Y (m)	Error Z (m)	Error X (m)	Error Y (m)	Error Z (m)
2	0.000	0.000	0.000	0.062	-0.067	-0.004
3	0.000	0.000	-0.001	0.026	-0.068	-0.034
4	-0.008	-0.020	-0.003	-0.007	-0.117	-0.016
5	-0.028	-0.054	-0.003	0.103	-0.042	-0.007
6	-0.043	-0.063	0.002	0.054	-0.036	-0.024
7	-0.060	-0.055	0.001	0.048	-0.039	-0.007
10	-0.056	-0.071	0.001	-0.052	-0.088	0.038
11	-0.043	-0.093	-0.002	-0.125	-0.030	0.011
12	-0.022	-0.086	-0.005	-0.094	0.056	-0.025
16	-0.016	-0.047	0.004	0.036	-0.032	-0.057
17	-0.005	-0.003	0.002	-0.014	0.031	-0.006
19	0.017	0.027	-0.004	0.022	0.087	-0.052
20	0.004	0.029	0.001	0.004	-0.012	0.010
Error medio cuadrático	0.031	0.052	0.003	0.062	0.061	0.028

Figura 53: Gráfico N°06. Error en Este Phantom 4 Pro vs Leica TS06 Plus 5”



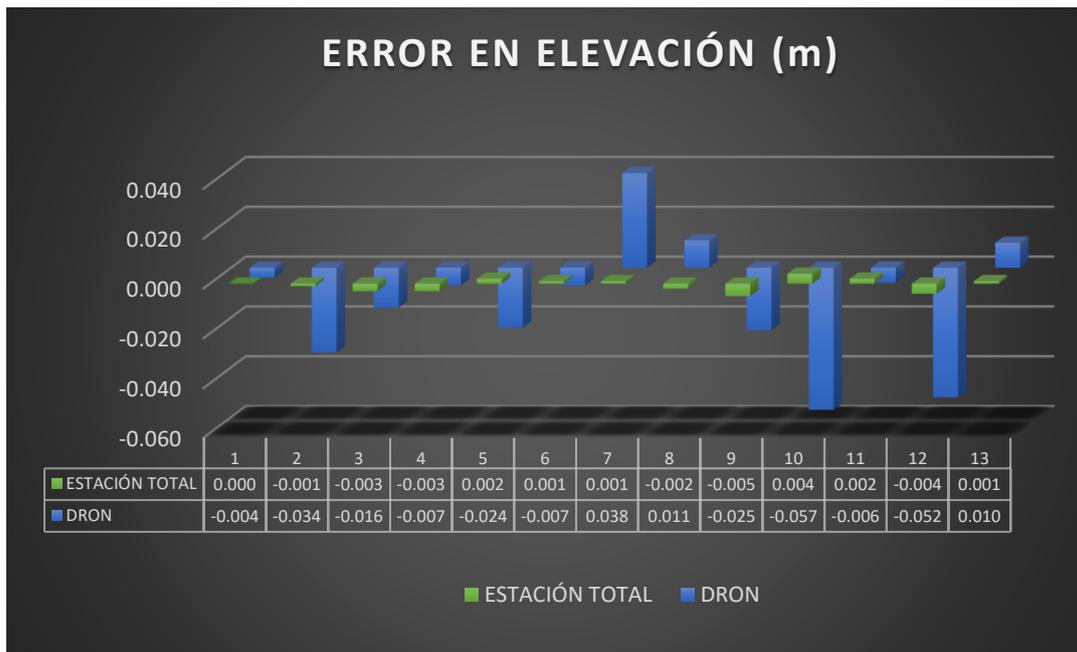
- Con respecto a los errores de lectura se aprecia que el dron presenta errores de -0.125m con respecto a -0.043m de la estación.

Figura 54: Gráfico N°07. Error en Norte Phantom 4 Pro vs Leica TS 06 Plus 5”



- Con respecto a los errores de lectura se aprecia que el dron presenta errores de -0.117m con respecto a -0.020 de la estación.

Figura 55: Gráfico N°08. Error en Elevación Phantom 4 Pro vs Leica TS06 Plus 5”



- Con respecto a los errores de lectura se aprecia que el dron presenta errores de -0.057m con respecto a 0.004 de la estación.

Posterior al análisis comparativo podemos acotar que el detalle presentado por el levantamiento con Dron es mucho mayor que el de la estación total y ayudaría en complementar para la toma de datos de campo, también se puede agregar que el Dron Phantom 4 Pro puede usarse en grandes extensiones donde no se requiera un nivel de detalle como lo son como por ejemplo: edificaciones, carreteras, puentes u otra infraestructura que el error permisible esté entre los 1mm a 5mm. Finalmente el presente trabajo de investigación logró identificar que el Dron Phantom 4 Pro no identifica la profundidad de cuerpos de agua como lo son ríos, esto se puede verificar en las secciones transversales del alineamiento que se generó del río de la Microrepresa Sendamal donde identifica como el nivel de espejo de agua como nivel de terreno.

CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS

Con este análisis podemos concluir que la estación Leica TS 06 Plus 5” presenta mayor exactitud en coordenadas X, Y, Z respecto al dron Phantom 4 Pro de acuerdo con lo que se planteó en la Hipótesis de la investigación.

B. Economía

Se evaluó con respecto a los objetivos específicos el costo que generó realizar el estudio teniendo como resultados los siguientes análisis:

Tabla 18: Análisis de Precios Unitarios del levantamiento con Dron

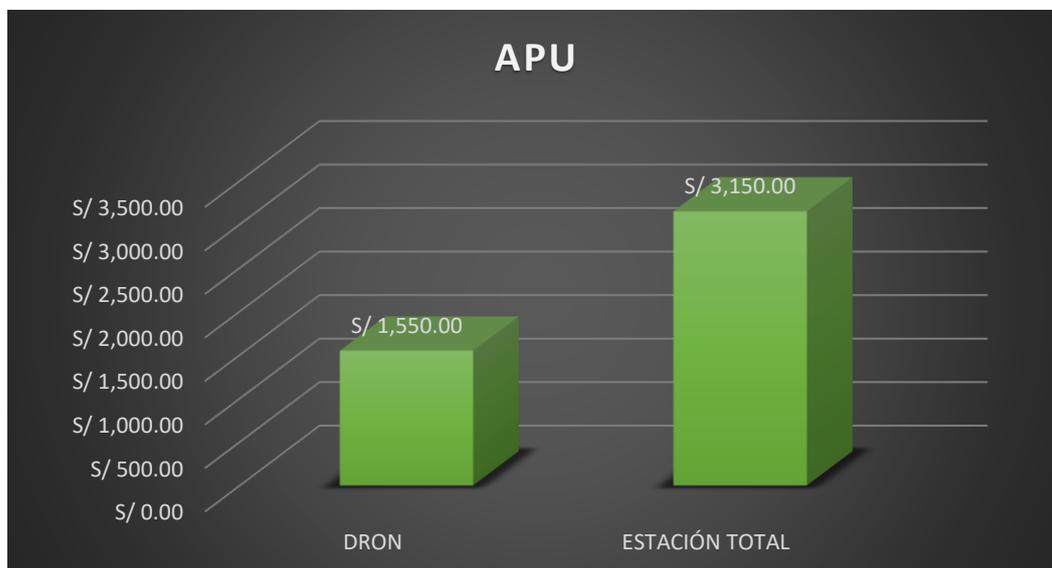
APU DRON					
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO S/	COSTO PARCIAL S/
1	LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO				
	Operador de dron	día	1	S/ 300.00	S/ 300.00
	Auxiliares de topografía	día	1	S/ 150.00	S/ 150.00
2	PROCESO EN GABINETE				
	Tesista	día	3	S/ 250.00	S/ 750.00
3	EQUIPOS				
	Dron DJI Phantom 4 PRO	día	1	S/ 110.00	S/ 110.00
	Camioneta	día	1	S/ 240.00	S/ 240.00
TOTAL					S/ 1,550.00

Tabla 19: Análisis de Precios Unitarios del levantamiento con Estación Total.

APU ESTACIÓN TOTAL					
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO S/	COSTO PARCIAL S/
	LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO				
1	Operador topógrafo	día	2	S/ 400.00	S/ 800.00
	Auxiliares de topografía	día	6	S/ 150.00	S/ 900.00
2	PROCESO EN GABINETE				
	Tesista	día	3	S/ 250.00	S/ 750.00
3	EQUIPOS				
	Estación Total TS06 PLUS				
	5" + acces.	día	2	S/ 110.00	S/ 220.00
	Camioneta	día	2	S/ 240.00	S/ 480.00
TOTAL					S/ 3,150.00

Se puede observar que el levantamiento con estación tiene un costo de S/1,600.00 (50.79%) mayor con respecto al dron.

Figura 56: Gráfico N°04. Factor costo: Dron Phantom 4 Pro vs Leica TS06 Plus 5”



C. Rapidez

Según el análisis para la elaboración completa con respecto a la rapidez se obtuvo el siguiente resultado:

Tabla 20: Rapidez Para El Desarrollo Completo Con Dron.

RAPIDEZ PARA EL DESARROLLO COMPLETO CON DRON			
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	TIEMPO	H:M:S
1	TRABAJO DE CAMPO		00:27:35
	Plan de vuelo	00:05:00	
	Levantamiento con dron	00:22:35	
2	TRABAJO DE GABINETE		07:00:00
	Procesamiento en Pix4Dmapper	02:00:00	
	Elaboración de Planos topográficos	05:00:00	
TOTAL			07:27:35

Tabla 21: Rapidez Para El Desarrollo Completo Con Estación Total

RAPIDEZ PARA EL DESARROLLO COMPLETO CON ESTACIÓN TOTAL			
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	TIEMPO	H:M:S
1	TRABAJO DE CAMPO		09:10:12
	Estacionamiento y Orientación	00:25:00	
	Levantamiento con Estación Total	08:45:12	
2	TRABAJO DE GABINETE		06:30:00
	Elaboración de Planos topográficos	06:30:00	
TOTAL			15:40:12

Se puede observar que el levantamiento con estación total es 08:12:37 (52.39%) mayor con respecto al dron.

Figura 57: Gráfico N°05. Factor tiempo: Dron Phantom 4 Pro vs Leica TS06 Plus 5"



CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones.

- De acuerdo con la investigación realizada, luego de realizarse la comparación de la precisión de un levantamiento topográfico utilizando Estación total Leica TS06 5" con el levantamiento fotogramétrico con Drone Phantom 4 Pro; se concluyó que los errores medios cuadráticos con respecto a topografía, la Estación total Leica TS06 5" es más preciso que el Drone Phantom 4 Pro para realizar el levantamiento topográfico de la microrepresa Sendamal.

Precisión: Leica TS09 Plus 5" vs Phantom 4 Pro			
EQUIPO	ESTE	NORTE	ELEVACIÓN
Leica TS 09 Plus 5"	0.031 m	0.052 m	0.003 m
Phantom 4 Pro	0.062 m	0.061 m	0.028 m

- Se concluye con respecto a la economía que el levantamiento con estación Leica TS06 Plus 5" tiene un costo mayor del 50.79% con respecto a los costos de un levantamiento fotogramétrico con Dron Phantom 4 Pro.
- Se concluye con respecto a la rapidez que el levantamiento con estación total Leica TS06 Plus es más lento presentando un tiempo de 15h:40m:12sg respecto al uso del dron Phantom 4 Pro el cual tiene un tiempo de 7h:25m:35sg.

5.2. Recomendaciones.

- Se recomienda que para el levantamiento topográfico con Estación Total se utilicen puntos de control para minimizar el error.
- Se recomienda que para el levantamiento topográfico con Dron se utilicen puntos de control y se use en zonas donde no exista vegetación ya que esto maximiza el error en elevación considerablemente.
- Se recomienda utilizar equipos calibrados para no obtener lecturas erróneas, además de que las condiciones climáticas deben ser favorables y lejos de antenas para que el dron no emita lecturas erróneas.
- Se recomienda en ambos equipos realizar los levantamientos topográficos con las condiciones climatológicas favorables con la finalidad de minimizar errores debido a factores externos.
- Se recomienda el uso de la estación Leica TS06 Plus 5" para levantamientos de cuerpos de agua donde se requiera conocer la profundidad de estos ya que el Dron Phantom 4 Pro identifica sólo el espejo de agua como nivel de superficie y no el fondo del cauce.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Addati, G. y Pérez Lance, G. (2014). *Introducción a los UAV's, Drones o VANTs de uso civil*. Serie de Documentos de Trabajo N°551. Universidad del Centro de Estudios Macroeconómicos de Argentina (UCEMA). <https://hdl.handle.net/10419/130802>
- American Society for Photogrammetry and Remote Sensing. (1980). *Manual of Photogrammetry*. Asprs Pubns.
- Banco de Datos y Circuitos. (24 de octubre de 2024). *Video tutorial para empezar a volar drones Una pequeña guía que deberían ser los primeros pasos*. [Imagen adjunta]. Facebook. <https://www.facebook.com/datosycircuitos/posts/nuevo-informe-especial-bdc-qu%C3%A9-es-un-drone-para-qu%C3%A9-sirve-cu%C3%A1les-son-sus-partes-/2188463854761422/>
- Bejarano Velasquez, J. y Palomino Cedeño, J. (2022). *Análisis comparativo del levantamiento fotogramétrico y estación total en el diseño geométrico de la Carretera de evitamiento progresiva 0+000 Al 3+837.26 Km – Otuzco, La Libertad, Perú 2021*. [Tesis para optar por el título de ingeniero civil, Universidad Privada Antenor Orrego]. Repositorio Institucional. <https://hdl.handle.net/20.500.12759/9003>
- Blandon Santana, A. y Mosquera A., I. (2005). *Planimetría*. [Monografía]. Universidad de Quindío. <https://hdl.handle.net/20.500.14550/5932>
- Brondi Rueda, F. (2019). *Diplomado en geomática, modulo VI: Procesamiento digital de imágenes de aeronaves pilotadas remotamente*. Centro de altos estudios nacionales (CAEN), Instituto Geográfico Nacional (IGN).
- Cano Ramos, L. (2016). *Fotogrametría*. [Diapositiva PowerPoint]. <https://es.slideshare.net/slideshow/fotogrametra-62412330/62412330>
- Casarrubias Cervantes, G. (2022). *Comparativa de precisión fotogramétrica digital en el uso de drones comerciales con base en un levantamiento topográfico de primer*

- orden*. [Tesis para obtener título de ingeniero geomático, Universidad Nacional Autónoma de México] Repositorio Institucional de la UNAM. <https://hdl.handle.net/20.500.14330/TES01000831157>
- DJI. (01 de noviembre de 2021). *Cómo optimizar la colocación de tus puntos de control terrestre*. <https://enterprise-insights.dji.com/es/blog/puntos-de-control-terrestre-drones>
- Garay et al. (2022)
- García Martín, A., Rosique Campoy, M. y Segado Vázquez, F. (1994). *Topografía Básica para Ingenieros*. Universidad de Murcia.
- Gómez Fernández, J. (17 de febrero de 2024). *Creación de modelos 3D del terreno con Blender*. <https://www.altergeosistemas.com/blog/2016/02/17/modelos-3d-terreno-blender/>
- Grijalba Luna, P. (2020). *Fotogrametría aérea con Drones*. Robotic Air Systems. <https://www.roboticairsystems.com/Downloads/informe-fotogrametria.pdf>
- Guevara. (2021)
- Jimenez Cleves, G. (2007). *Topografía para Ingenieros Civiles*. Universidad del Quindío, Programa de Ingeniería Civil.
- Marin Escalante, J. y Viela Cabada, J. (2022) *Análisis de un levantamiento fotogramétrico frente a un levantamiento topográfico entre los kilómetros 96 y 98 del tramo PE-08B de la red vial nacional Cajamarca-Celendín*. [Tesis para optar por el título profesional de ingeniero civil, Universidad Privada del Norte] Repositorio Institucional. <https://core.ac.uk/reader/574534744>
- Medinilla, I. (2020). *Métodos de levantamiento topográfico*. <https://www.studocu.com/es-mx/document/universidad-tecnologica-mesoamericana-sc/materiales/25-metodos-de-levantamiento/25323137>
- Mendoza Dueñas, J. (2017). *Topografía Técnicas Modernas (1ª edición)*. Editores Maraucano E.I.R.L.

- Nieto Ortega, J. y Becerra Triana, W. (2019). *Elaboración de modelos digitales de terreno por medio de fotogrametría obtenida por tecnología Drone, relacionado con el método convencional, en la intersección de la vía Saboyá Sutamarchán con la ruta 45°, Boyacá-Colombia*. [Tesis de grado, Universidad Católica de Colombia]. Repositorio Institucional. <https://hdl.handle.net/10983/26666>
- Ojeda, F. (2023) *Estudio comparativo entre la topografía clásica con estación total y la fotogrametría digital mediante vehículos aéreos no tripulados (VANT) en minería a cielo abierto*. [Tesis de Licenciatura, Universidad de Concepción] <http://repositorio.udec.cl/xmlui/handle/11594/11127>.
- Oriondo Meza, L. y Jurado Cordova, J. (2023). *Optimización del rendimiento y costo de un Levantamiento Topográfico mediante el uso de drones en 1 km de trocha Carrozable del distrito 27 de Noviembre – Huaral*. [Trabajo de suficiencia profesional, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas] Repositorio Académico UPC. <http://hdl.handle.net/10757/670378>
- Pepe, M., Alfio, V.S. y Costantino, D. (2022). *UAV Platforms and the SfM-MVS Approach in the 3D Surveys and Modelling: A Review in the Cultural Heritage Field*. Applied Sciences, 12(24), 12886. <https://doi.org/10.3390/app122412886>
- Pérez Álvarez, J. (2001). *Apuntes de Fotogrametría III*. Universidad de Extremadura Centro Universitario de Mérida.
- Pix4D. (s.f.). *Mapeador Pix4D. Un proyecto de la A a la Z*. <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202557489>
- Quirós Rosado, E. (2014). *Introducción a la Fotogrametría y Cartografía aplicadas a la Ingeniería Civil*. Universidad de Extremadura
- Riaño Rodríguez, E. (2018). *Metodología para el diseño de un vuelo fotogramétrico usando UAV'S*. [Trabajo de grado para optar al título de ingeniero en topografía, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. Repositorio Institucional. <http://hdl.handle.net/11349/13097>

- Sánchez Turcios, R. (2015). *T-Student: Usos y Abusos*. Revista mexicana de cardiología, 26 (1), 59-91.
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-21982015000100009
- Sani, J., Tierra Criollo, A. y Robayo Nieto, A. (2014). *Vehículos aéreos no tripulados-UAV para la elaboración de cartografía escalas grandes referidas al marco de referencia SIRGAS - Ecuador*. [Seminario] <https://www.researchgate.net/publication/274385188>
- Torres Nieto, A. y Villate Bonilla, E. (2000). *Topografía (Cuarta edición)*. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Vásquez Castañeda A. (2021). *Análisis del Volumen de Material Apilado obtenido de un Levantamiento Topográfico con Drone comparado con el Volumen obtenido de un Levantamiento Topográfico con Estación Total*. [Tesis para optar por el título de ingeniero civil, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/4747>
- Wolf, P. R., y Ghilani, C. D. (2016). *Topografía (14ª edición)*. Alfaomega Grupo Editor.

ANEXOS

Anexo 01. Reporte de calidad



! **Important:** Click on the different icons for:

? Help to analyze the results in the Quality Report

i Additional information about the sections



Click [here](#) for additional tips to analyze the Quality Report

Summary



Project	230912_PROCESO TESIS
Processed	2023-09-12 15:33:51
Camera Model Name(s)	FC6310_8.8_5472x3078 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	3.92 cm / 1.54 in
Area Covered	0.426 km ² / 42.6198 ha / 0.16 sq. mi. / 105.3704 acres

Quality Check



? Images	median of 46555 keypoints per image	✓
? Dataset	280 out of 280 images calibrated (100%), 5 images disabled	✓
? Camera Optimization	1.9% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	✓
? Matching	median of 26598.5 matches per calibrated image	✓
? Georeferencing	yes, 18 GCPs (18 3D), mean RMS error = 0.054 m	✓

? Preview

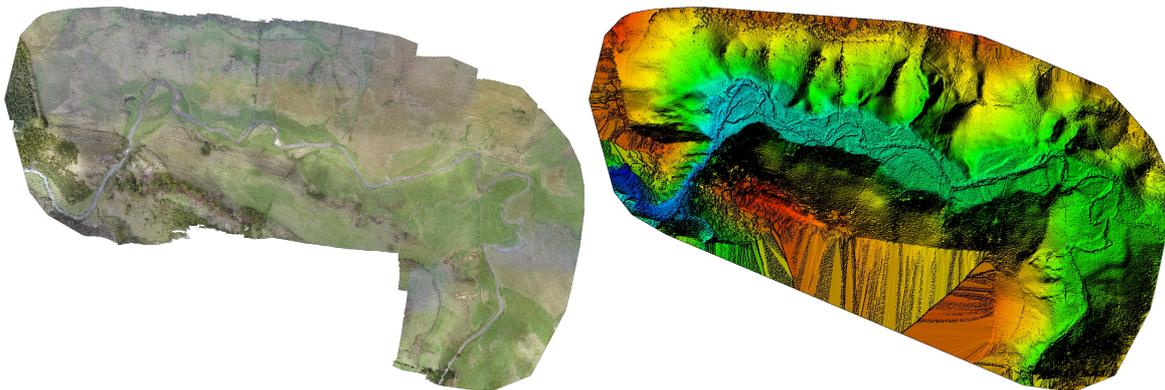


Figure 1: Orthomosaic and the corresponding sparse Digital Surface Model (DSM) before densification.

Calibration Details



Number of Calibrated Images	280 out of 285
Number of Geolocated Images	285 out of 285

? Initial Image Positions



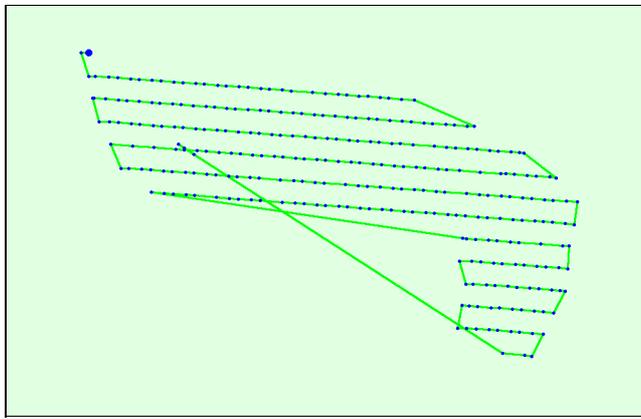
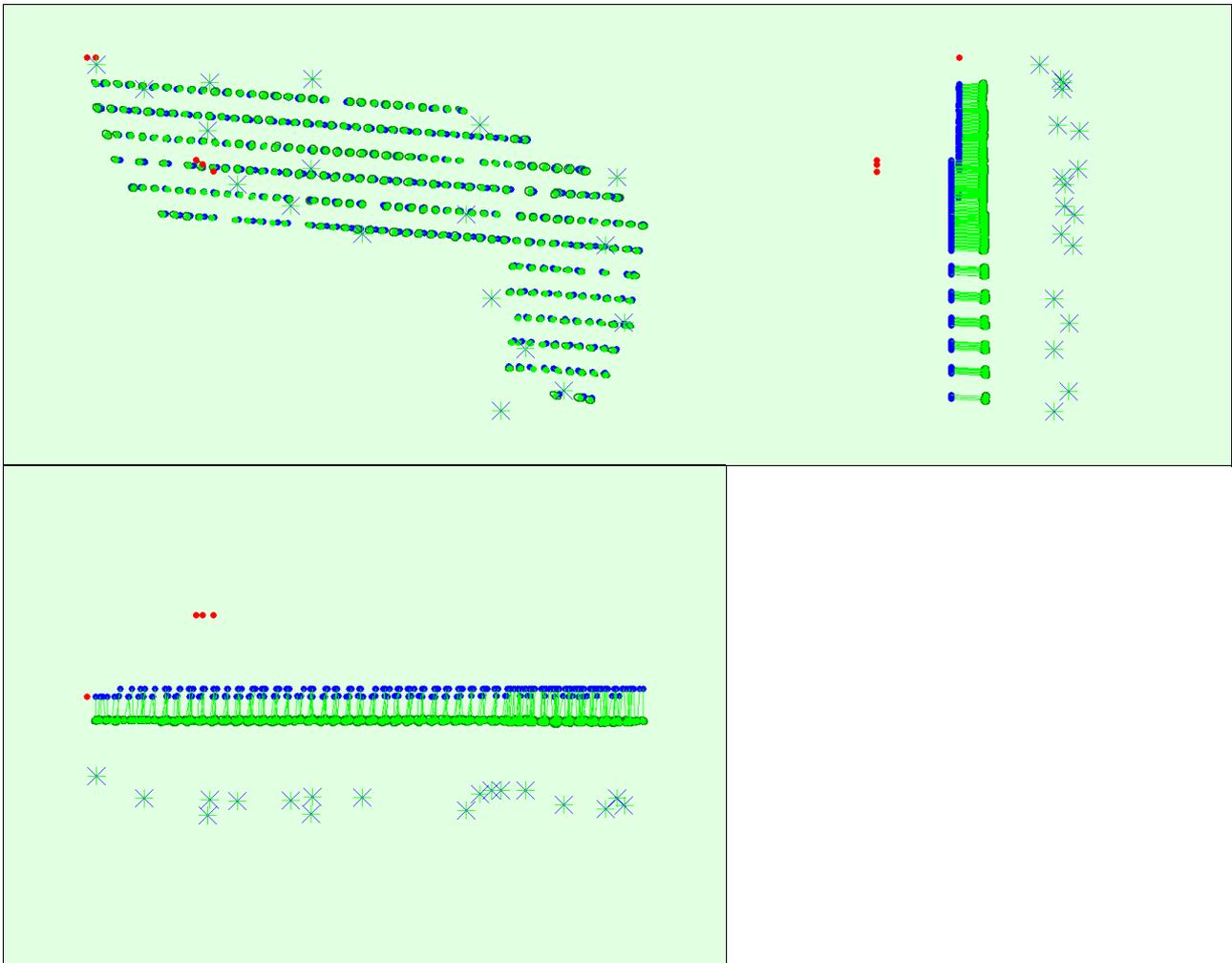


Figure 2: Top view of the initial image position. The green line follows the position of the images in time starting from the large blue dot.

Computed Image/GCPs/Manual Tie Points Positions



Uncertainty ellipses 500x magnified

Figure 3: Offset between initial (blue dots) and computed (green dots) image positions as well as the offset between the GCPs initial positions (blue crosses) and their computed positions (green crosses) in the top-view (XY plane), front-view (XZ plane), and side-view (YZ plane). Red dots indicate disabled or uncalibrated images. Dark green ellipses indicate the absolute position uncertainty of the bundle block adjustment result.

Absolute camera position and orientation uncertainties

	X[m]	Y[m]	Z[m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.014	0.011	0.014	0.004	0.005	0.001
Sigma	0.002	0.002	0.000	0.001	0.001	0.000

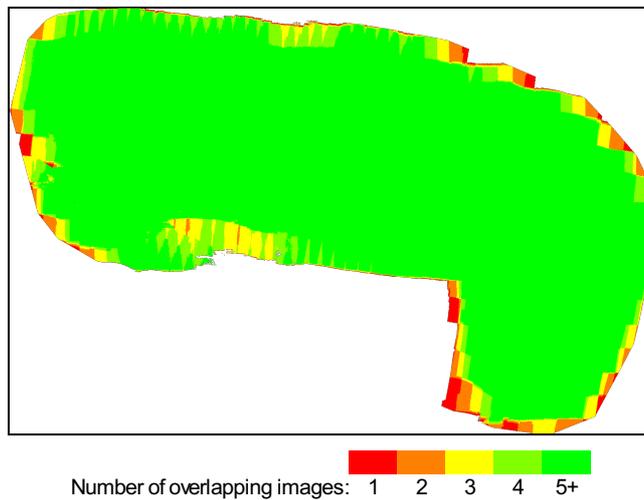


Figure 4: Number of overlapping images computed for each pixel of the orthomosaic. Red and yellow areas indicate low overlap for which poor results may be generated. Green areas indicate an overlap of over 5 images for every pixel. Good quality results will be generated as long as the number of keypoint matches is also sufficient for these areas (see Figure 5 for keypoint matches).

Bundle Block Adjustment Details

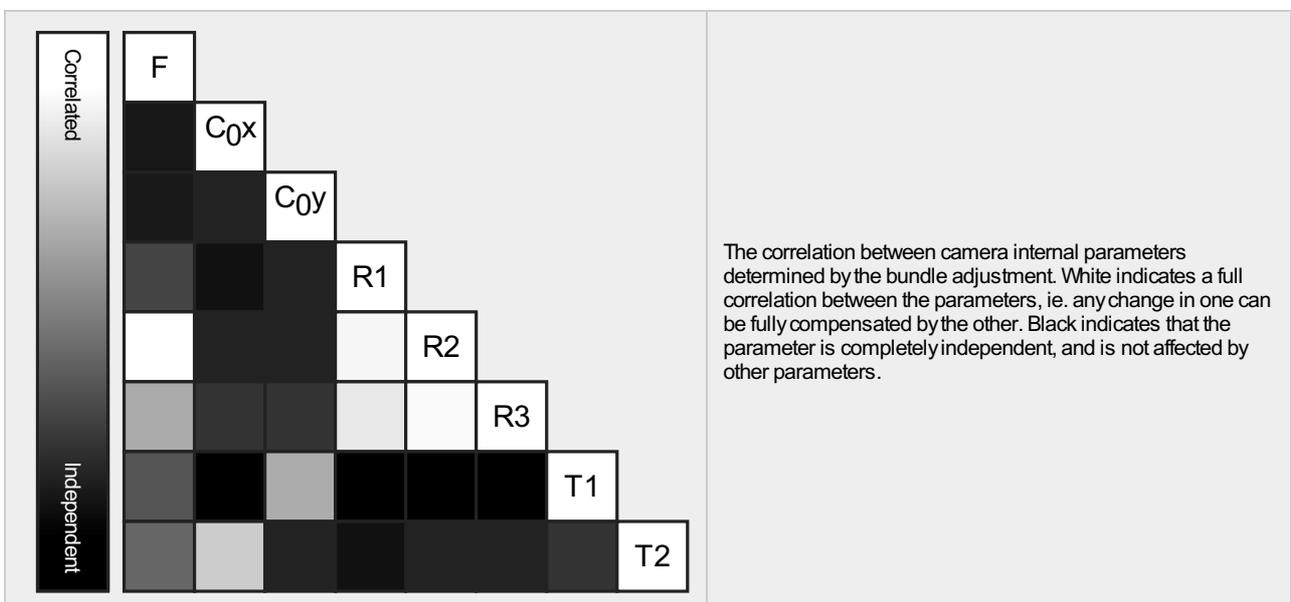
Number of 2D Keypoint Observations for Bundle Block Adjustment	7845418
Number of 3D Points for Bundle Block Adjustment	2498702
Mean Reprojection Error [pixels]	0.152

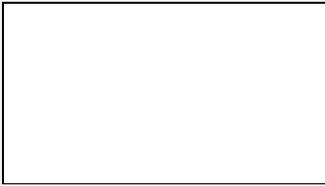
Internal Camera Parameters

FC6310_8.8_5472x3078 (RGB). Sensor Dimensions: 12.833 [mm] x 7.219 [mm]

EXIF ID: FC6310_8.8_5472x3078

	Focal Length	Principal Point x	Principal Point y	R1	R2	R3	T1	T2
Initial Values	3752.229 [pixel] 8.800 [mm]	2736.000 [pixel] 6.417 [mm]	1539.000 [pixel] 3.609 [mm]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Optimized Values	3680.727 [pixel] 8.632 [mm]	2736.381 [pixel] 6.418 [mm]	1558.611 [pixel] 3.655 [mm]	0.006	-0.018	0.018	-0.000	-0.000
Uncertainties (Sigma)	0.346 [pixel] 0.001 [mm]	0.080 [pixel] 0.000 [mm]	0.062 [pixel] 0.000 [mm]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000





The number of Automatic Tie Points (ATPs) per pixel, averaged over all images of the camera model, is color coded between black and white. White indicates that, on average, more than 16 ATPs have been extracted at the pixel location. Black indicates that, on average, 0 ATPs have been extracted at the pixel location. Click on the image to see the average direction and magnitude of the re-projection error for each pixel. Note that the vectors are scaled for better visualization. The scale bar indicates the magnitude of 1 pixel error.

2D Keypoints Table



	Number of 2D Keypoints per Image	Number of Matched 2D Keypoints per Image
Median	46555	26598
Mn	28465	6063
Max	79987	50532
Mean	49330	28019

3D Points from 2D Keypoint Matches



	Number of 3D Points Observed
In 2 Images	1502529
In 3 Images	441216
In 4 Images	205967
In 5 Images	116338
In 6 Images	66951
In 7 Images	41370
In 8 Images	30140
In 9 Images	22818
In 10 Images	16973
In 11 Images	12381
In 12 Images	8776
In 13 Images	6426
In 14 Images	5300
In 15 Images	4472
In 16 Images	3746
In 17 Images	2989
In 18 Images	2407
In 19 Images	1546
In 20 Images	1101
In 21 Images	783
In 22 Images	746
In 23 Images	657
In 24 Images	533
In 25 Images	490
In 26 Images	444
In 27 Images	377
In 28 Images	353
In 29 Images	234
In 30 Images	184
In 31 Images	154
In 32 Images	95
In 33 Images	64
In 34 Images	49
In 35 Images	38
In 36 Images	30
In 37 Images	19
In 38 Images	4
In 39 Images	2

2D Keypoint Matches

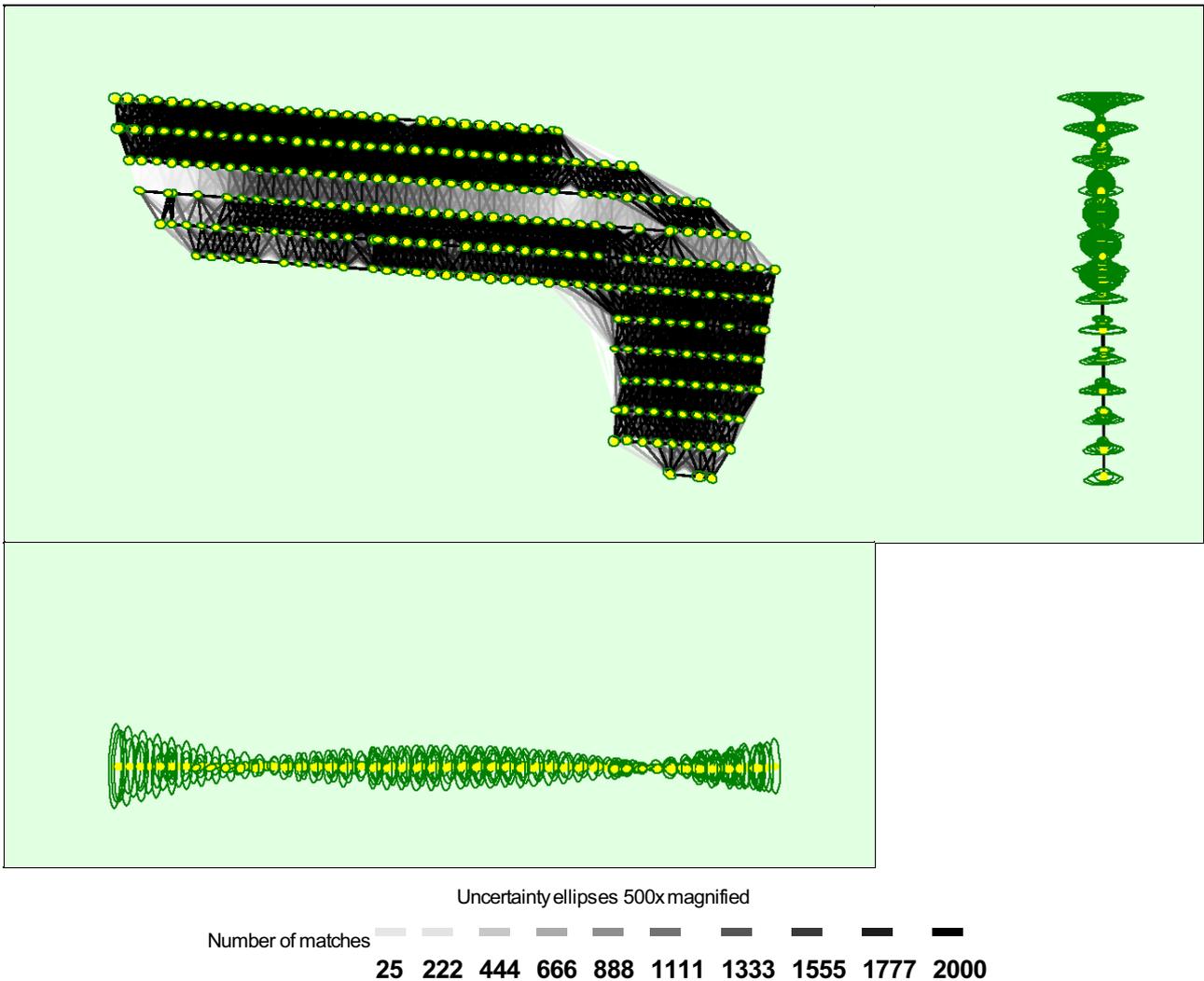


Figure 5: Computed image positions with links between matched images. The darkness of the links indicates the number of matched 2D keypoints between the images. Bright links indicate weak links and require manual tie points or more images. Dark green ellipses indicate the relative camera position uncertainty of the bundle block adjustment result.

Relative camera position and orientation uncertainties



	X[m]	Y[m]	Z[m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.014	0.011	0.033	0.012	0.018	0.002
Sigma	0.002	0.001	0.021	0.005	0.009	0.000

Geolocation Details



Ground Control Points



GCP Name	Accuracy XY/Z [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
2 (3D)	0.020/ 0.020	0.062	-0.067	-0.004	0.420	21 / 21
3 (3D)	0.020/ 0.020	0.026	-0.068	-0.034	0.480	17 / 17
4 (3D)	0.020/ 0.020	-0.007	-0.117	-0.016	0.402	15 / 15
5 (3D)	0.020/ 0.020	0.103	-0.042	-0.007	0.423	4 / 4
6 (3D)	0.020/ 0.020	0.054	-0.036	-0.024	0.463	12 / 12
7 (3D)	0.020/ 0.020	0.048	-0.039	-0.007	0.059	3 / 3
10 (3D)	0.020/ 0.020	-0.052	-0.088	0.038	0.355	15 / 15

11 (3D)	0.020/0.020	-0.125	-0.030	0.011	0.427	17 / 17
12 (3D)	0.020/0.020	-0.094	0.056	-0.025	0.486	27 / 27
14 (3D)	0.020/0.020	-0.033	0.107	-0.022	0.524	10 / 10
15 (3D)	0.020/0.020	0.003	0.161	-0.008	0.495	11 / 11
16 (3D)	0.020/0.020	0.036	-0.032	-0.057	0.462	25 / 25
17 (3D)	0.020/0.020	-0.014	0.031	-0.006	0.399	31 / 31
18 (3D)	0.020/0.020	-0.012	0.165	-0.099	0.548	9 / 9
19 (3D)	0.020/0.020	0.022	0.087	-0.052	0.612	15 / 15
20 (3D)	0.020/0.020	0.004	-0.012	0.010	0.462	30 / 30
21 (3D)	0.020/0.020	0.024	0.010	-0.005	0.427	17 / 17
22 (3D)	0.020/0.020	0.006	0.002	-0.061	0.132	2 / 2
Mean [m]		0.002861	0.004850	-0.020396		
Sigma [m]		0.053240	0.079241	0.030627		
RMS Error [m]		0.053317	0.079389	0.036797		

Localisation accuracy per GCP and mean errors in the three coordinate directions. The last column counts the number of calibrated images where the GCP has been automatically verified vs. manually marked.

🔍 Absolute Geolocation Variance



Min Error [m]	Max Error [m]	Geolocation Error X [%]	Geolocation Error Y [%]	Geolocation Error Z [%]
-	-15.00	0.00	0.00	0.00
-15.00	-12.00	0.00	0.00	0.00
-12.00	-9.00	0.00	0.00	7.50
-9.00	-6.00	10.36	0.00	33.21
-6.00	-3.00	17.86	0.00	0.00
-3.00	0.00	22.86	52.50	0.00
0.00	3.00	16.79	47.14	0.00
3.00	6.00	20.36	0.36	29.64
6.00	9.00	11.79	0.00	29.64
9.00	12.00	0.00	0.00	0.00
12.00	15.00	0.00	0.00	0.00
15.00	-	0.00	0.00	0.00
Mean [m]		1.529137	0.778097	49.223990
Sigma [m]		4.412905	1.245982	7.017236
RMS Error [m]		4.670330	1.468982	49.721653

Min Error and Max Error represent geolocation error intervals between -1.5 and 1.5 times the maximum accuracy of all the images. Columns X, Y, Z show the percentage of images with geolocation errors within the predefined error intervals. The geolocation error is the difference between the initial and computed image positions. Note that the image geolocation errors do not correspond to the accuracy of the observed 3D points.

Geolocation Bias	X	Y	Z
Translation [m]	1.529136	0.778097	49.223990

Bias between image initial and computed geolocation given in output coordinate system.

🔍 Relative Geolocation Variance



Relative Geolocation Error	Images X [%]	Images Y [%]	Images Z [%]
[-1.00, 1.00]	66.07	100.00	100.00
[-2.00, 2.00]	100.00	100.00	100.00
[-3.00, 3.00]	100.00	100.00	100.00
Mean of Geolocation Accuracy [m]	5.000000	5.000000	10.000000
Sigma of Geolocation Accuracy [m]	0.000000	0.000000	0.000000

Images X, Y, Z represent the percentage of images with a relative geolocation error in X, Y, Z.

Geolocation Orientational Variance	RMS [degree]
Omega	1.048
Phi	1.009
Kappa	2.670

Geolocation RMS error of the orientation angles given by the difference between the initial and computed image orientation angles.

Initial Processing Details

System Information

Hardware	CPU: 11th Gen Intel(R) Core(TM) i7-11700 @2.50GHz RAM: 64GB GPU: NMDIARTXA2000 12GB (Driver: 31.0.15.2886), Intel(R) UHD Graphics 750 (Driver: 30.0.101.1692)
Operating System	Windows 11, 64-bit

Coordinate Systems

Image Coordinate System	WGS 84 (EGM96 Geoid)
Ground Control Point (GCP) Coordinate System	WGS 84 / UTMzone 17S (EGM96 Geoid)
Output Coordinate System	WGS 84 / UTMzone 17S (EGM96 Geoid)

Processing Options

Detected Template	 3D Maps
Keypoints Image Scale	Full, Image Scale: 1
Advanced: Matching Image Pairs	Aerial Grid or Corridor
Advanced: Matching Strategy	Use Geometrically Verified Matching: no
Advanced: Keypoint Extraction	Targeted Number of Keypoints: Automatic
Advanced: Calibration	Calibration Method: Standard Internal Parameters Optimization: All External Parameters Optimization: All Rematch: Auto, yes

Point Cloud Densification details

Processing Options

Image Scale	multiscale, 1/4 (Quarter image size, Fast)
Point Density	Optimal
Minimum Number of Matches	3
3D Textured Mesh Generation	no
LOD	Generated: no
Advanced: Image Groups	group1
Advanced: Use Processing Area	yes
Advanced: Use Annotations	yes
Time for Point Cloud Densification	05m:22s
Time for Point Cloud Classification	39s
Time for 3D Textured Mesh Generation	NA

Results

Number of Generated Tiles	1
Number of 3D Densified Points	6752116

DSM, Orthomosaic and Index Details



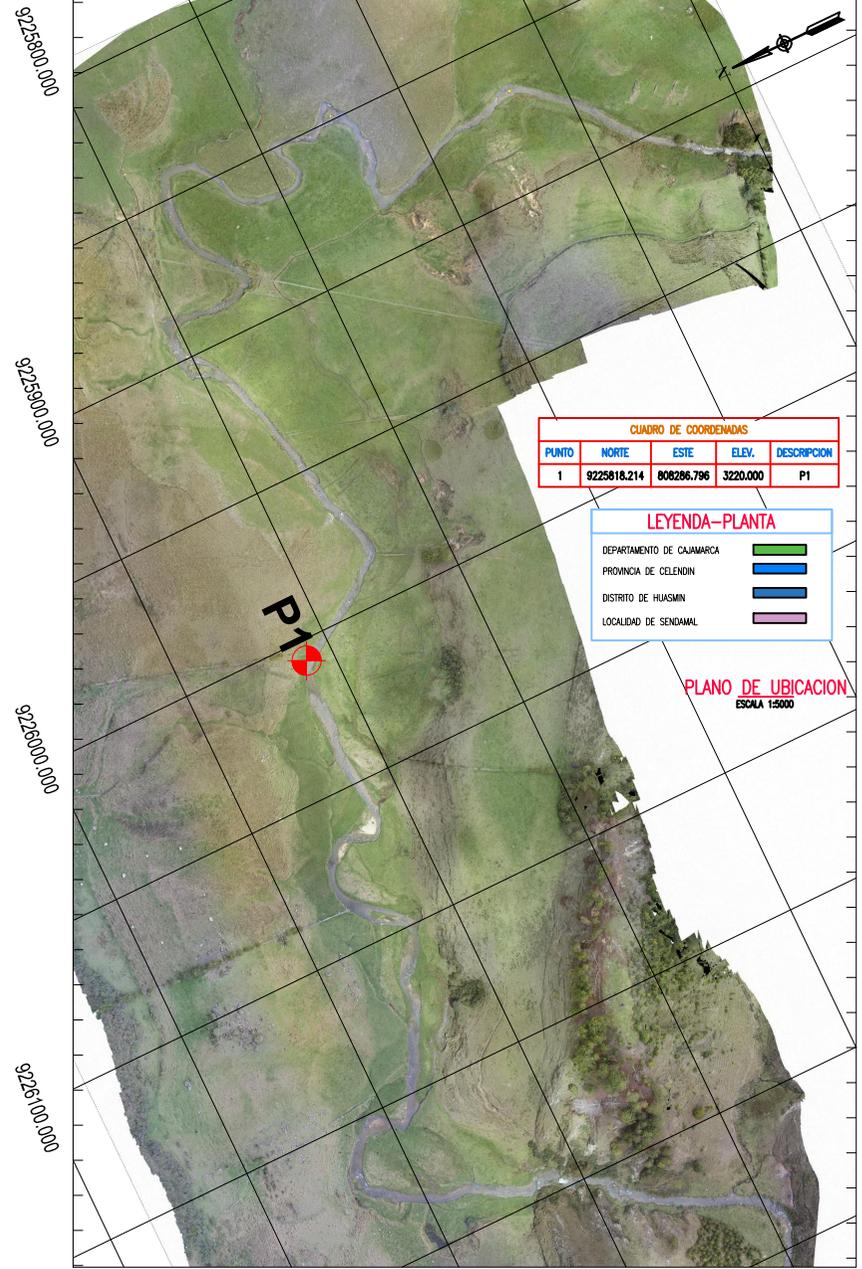
Processing Options



DSM and Orthomosaic Resolution	1 x GSD (3.92 [cm/pixel])
DSM Filters	Noise Filtering: yes Surface Smoothing: yes, Type: Sharp
Raster DSM	Generated: yes Method: Inverse Distance Weighting Merge Tiles: yes
Orthomosaic	Generated: yes Merge Tiles: yes GeoTIFF Without Transparency: no Google Maps Tiles and KML: no
Time for DSM Generation	03m:56s
Time for Orthomosaic Generation	10m:58s
Time for DTM Generation	00s
Time for Contour Lines Generation	00s
Time for Reflectance Map Generation	00s
Time for Index Map Generation	00s

Anexo 02. Plano de Ubicación

808700.000 808600.000



CUADRO DE COORDENADAS				
PUNTO	NORTE	ESTE	ELEV.	DESCRIPCION
1	9225818.214	808286.796	3220.000	P1

LEYENDA-PLANTA	
DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA	
PROVINCIA DE CELENDIN	
DISTRITO DE HUASMIN	
LOCALIDAD DE SENDAMAL	

PLANO DE UBICACION
ESCALA 1:5000

9225900.000

9226000.000

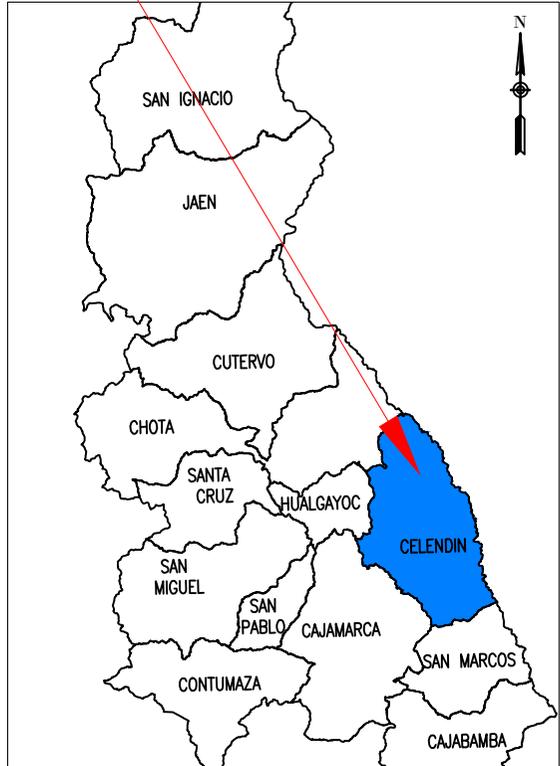
9226100.000

9225400.000

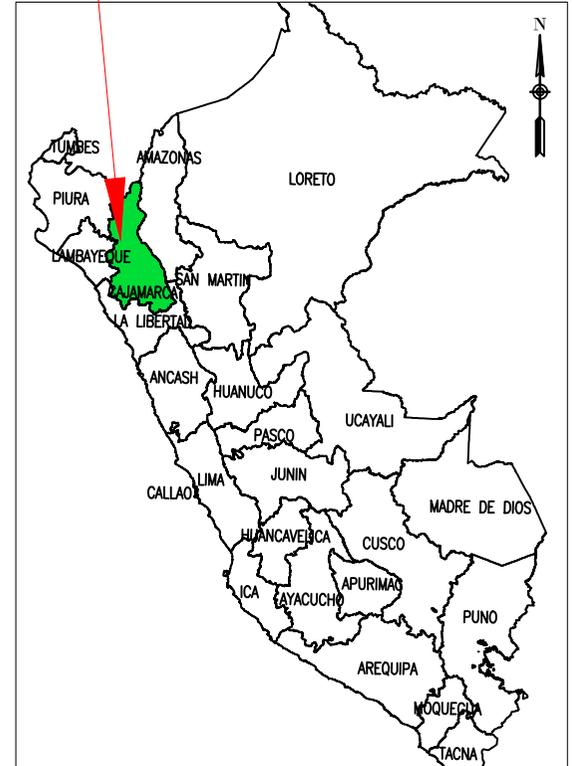
9225500.000

9225600.000

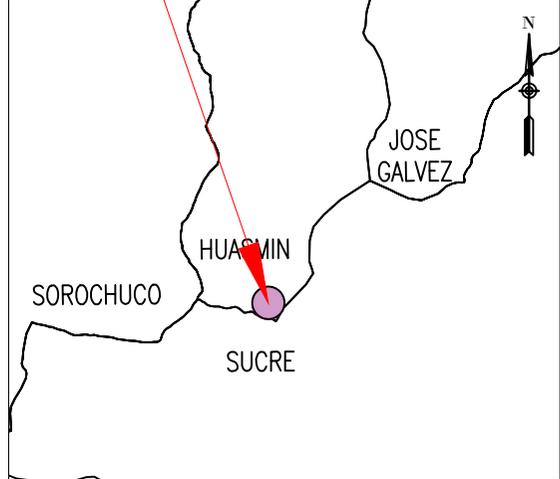
PROVINCIA DE CELENDIN
LOCALIZACION E 1:3'000000



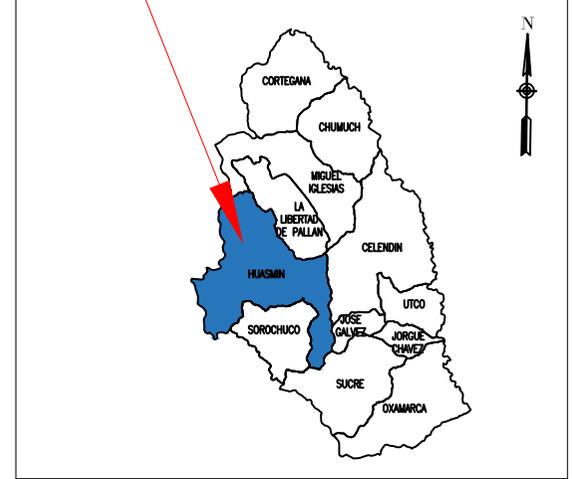
DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA
LOCALIZACION E 1:20'000000



LOCALIDAD SENDAMAL
LOCALIZACION E 1:200000



DISTRITO DE HUASMIN
LOCALIZACION E 1:1'500000



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



"COMPARACION DE LA PRECISION DE UN LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO UTILIZANDO DRONE PHANTOM 4 PRO V2.0 Y ESTACION TOTAL LEICA TS06 PLUS 2" EN LA MICROREPRESA SENDAMAL, DISTRITO DE HUASMIN-PROVINCIA DE CELENDIN-CAJAMARCA"

TESISTA:
Bach. ERICK JAVIER RUBIO BRICEÑO
ASESOR:
M.Cs. Ing. ALEJANDRO CUBAS BECERRA

PLANO:
PLANO TOPOGRAFICO
ESTACION TOTAL
MICROCUENCA SENDAMAL

REV. N°01:

REV. N°02:

REV. N°03:

REV. N°04:

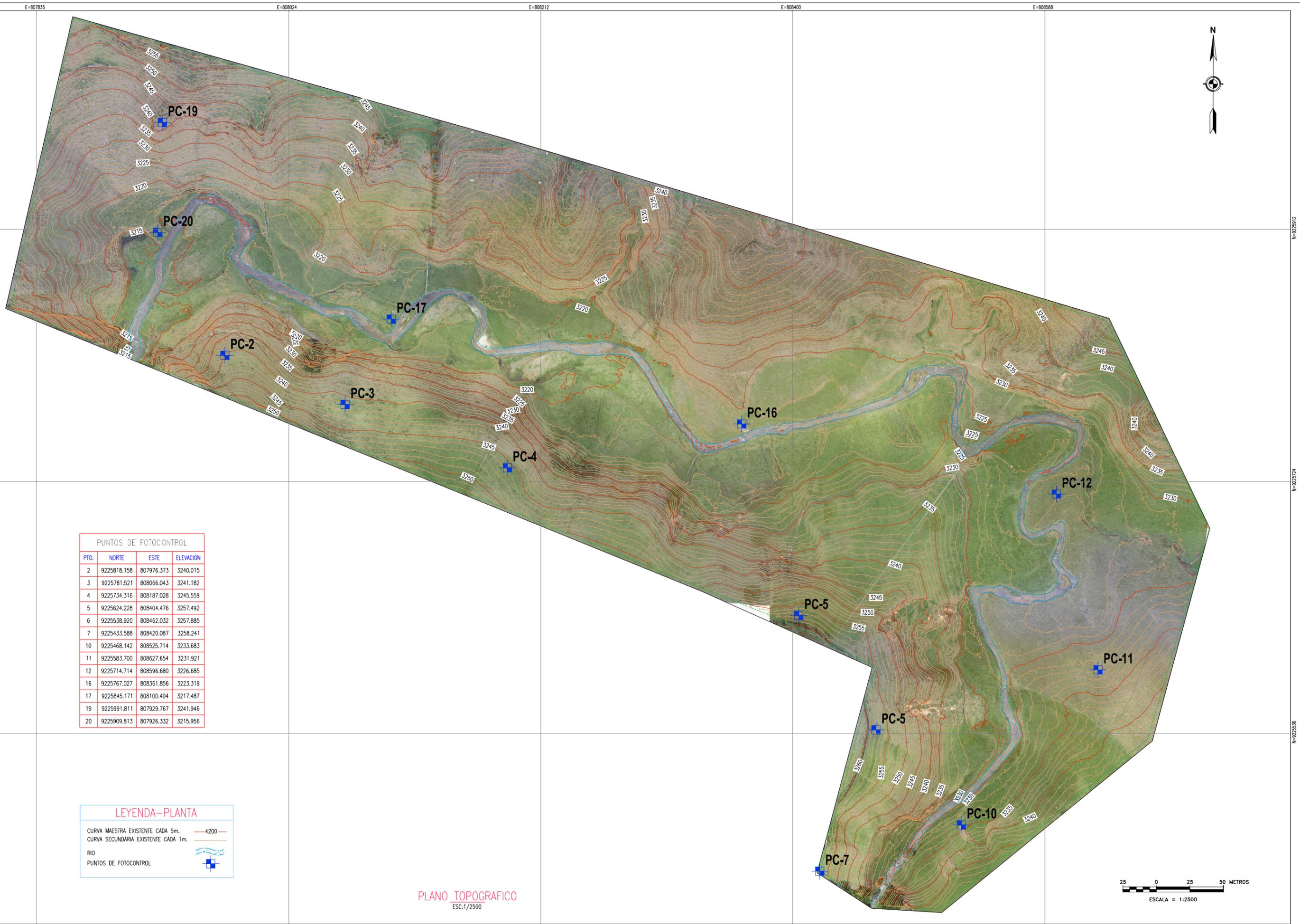
DEPARTAMENTO:
CAJAMARCA
PROVINCIA:
CELENDIN

DISTRITO:
HUASMIN
DISTRITO:
CAJAMARCA

ESCALA:
INDICADA
FECHA:
AGOSTO 2024

PLANO:
UB-01

Anexo 03. Plano topográfico- fotogrametría



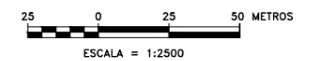
PUNTOS DE FOTOCONTROL

PTO.	NORTE	ESTE	ELEVACION
2	9225818.158	807976.373	3240.015
3	9225781.521	808066.043	3241.182
4	9225734.316	808187.028	3245.559
5	9225624.228	808404.476	3257.492
6	9225538.920	808462.032	3257.885
7	9225433.588	808420.087	3258.241
10	9225468.142	808525.714	3233.683
11	9225583.700	808627.654	3231.921
12	9225714.714	808596.680	3226.685
16	9225767.027	808361.856	3223.319
17	9225845.171	808100.404	3217.487
19	9225991.811	807929.767	3241.946
20	9225909.813	807926.332	3215.956

LEYENDA-PLANTA

CURVA MAESTRA EXISTENTE CADA 5m.	— 4200 —
CURVA SECUNDARIA EXISTENTE CADA 1m.	— —
RIO	
PUNTOS DE FOTOCONTROL	

PLANO TOPOGRAFICO
ESC:1/2500



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



"COMPARACIÓN DE LA PRECISIÓN DE UN LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO UTILIZANDO DRONE PHANTOM 4 PRO V2.0 Y ESTACIÓN TOTAL LEICA TS06 PLUS 2" EN LA MICROREPRESA SENDAMAL, DISTRITO DE HUASMIN-PROVINCIA DE CELENDÍN-CAJAMARCA"

TESISTA:
Bach. ERICK JAVIER RUBIO BRICEÑO
ASESOR:
M.Cs. Ing. ALEJANDRO CUBAS BECERRA

PLANO:
PLANO TOPOGRÁFICO
FOTOGRAMETRIA
MICROCUCENCA SENDAMAL

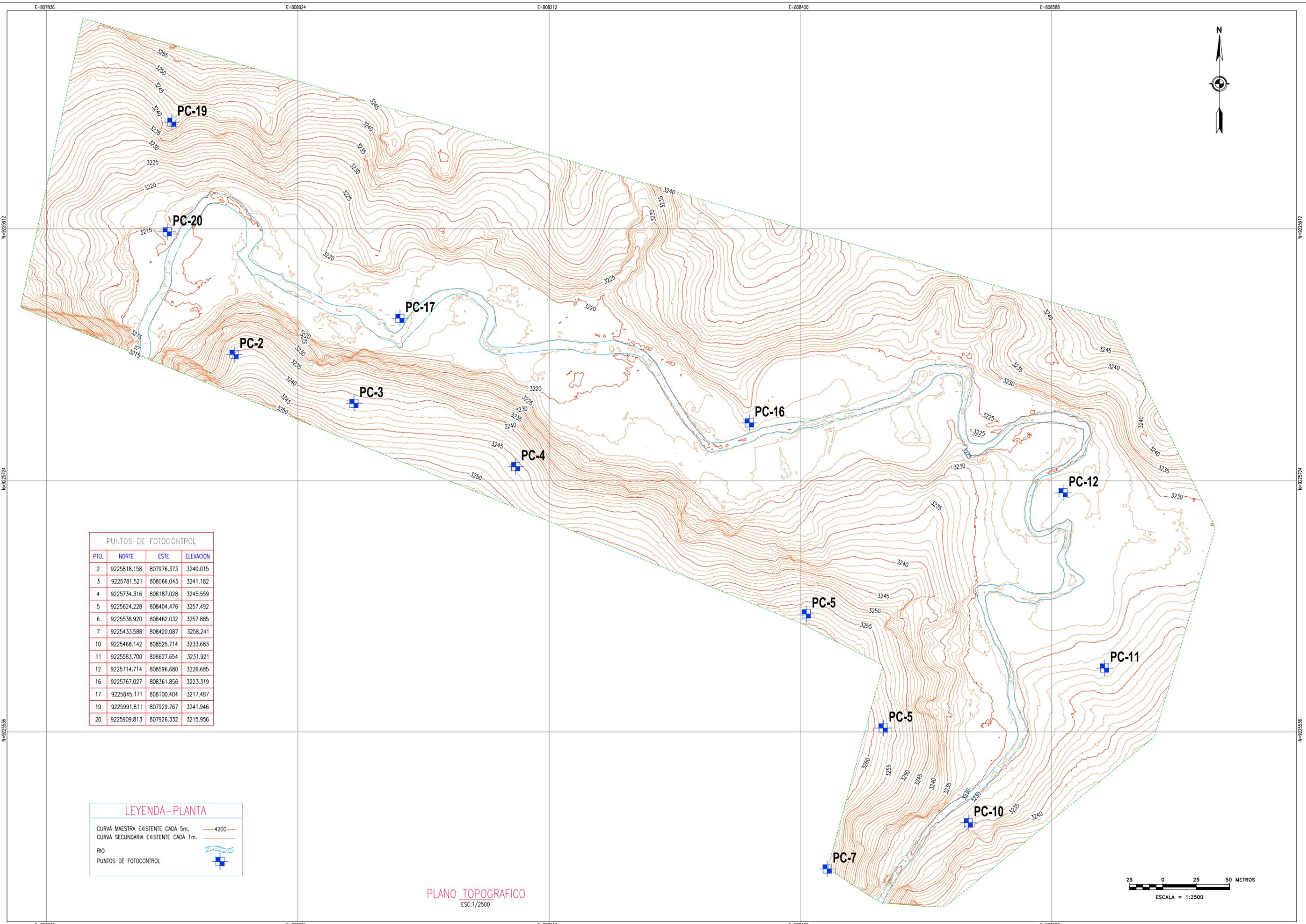
REV N°01:
REV N°02:
REV N°03:
REV N°04:

DEPARTAMENTO:
CAJAMARCA
PROVINCIA:
CELENDÍN

DISTRITO:
HUASMIN
DATUM:
CAJAMARCA

ESCALA:
INDICADA
FECHA:
AGOSTO 2024

PLANO:
TD-01



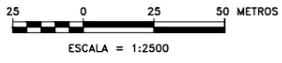
PUNTOS DE FOTOCONTROL

PTO.	NORTE	ESTE	ELEVACION
2	9225818.158	807976.373	3240.015
3	9225781.521	808066.043	3241.182
4	9225734.316	808187.028	3245.559
5	9225624.228	808404.476	3257.492
6	9225538.920	808462.032	3257.885
7	9225433.588	808420.087	3258.241
10	9225468.142	808525.714	3233.683
11	9225583.700	808627.654	3231.921
12	9225714.714	808596.680	3226.685
16	9225767.027	808361.856	3223.319
17	9225845.171	808100.404	3217.487
19	9225991.811	807929.767	3241.946
20	9225909.813	807926.332	3215.956

LEYENDA-PLANTA

CURVA MAESTRA EXISTENTE CADA 5m.		4200
CURVA SECUNDARIA EXISTENTE CADA 1m.		
RIO		
PUNTOS DE FOTOCONTROL		

PLANO TOPOGRAFICO
ESC:1/2500



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



TESISTA:
Bach. ERICK JAVIER RUBIO BRICEÑO
ASESOR:
M.Cs. Ing. ALEJANDRO CUBAS BECERRA

PLANO:
PLANO TOPOGRÁFICO
FOTOGRAMETRIA
MICROCUEENCA SENDAMAL

REV N°01:
REV N°02:
REV N°03:
REV N°04:

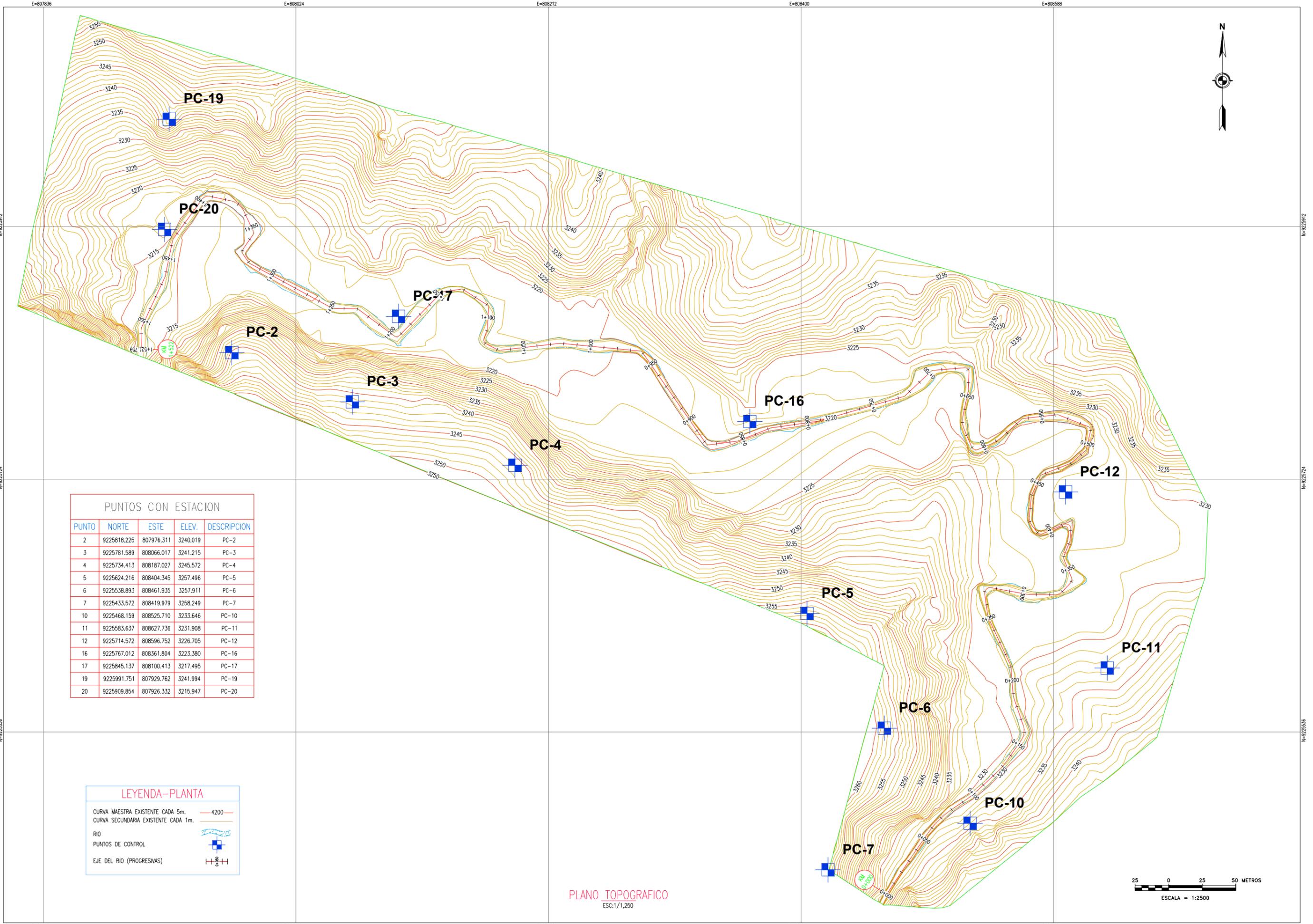
DEPARTAMENTO:
CAJAMARCA
PROVINCIA:
CELENDÍN

DISTRITO:
HUASMIN
DATUM:
CAJAMARCA

ESCALA:
INDICADA
FECHA:
AGOSTO 2024

PLANO:
TD-02

Anexo 04. Plano topográfico- estación total



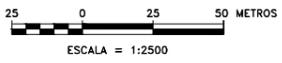
PUNTOS CON ESTACION

PUNTO	NORTE	ESTE	ELEV.	DESCRIPCION
2	9225818.225	807976.311	3240.019	PC-2
3	9225781.589	808066.017	3241.215	PC-3
4	9225734.413	808187.027	3245.572	PC-4
5	9225624.216	808404.345	3257.496	PC-5
6	9225538.893	808461.935	3257.911	PC-6
7	9225433.572	808419.979	3258.249	PC-7
10	9225468.159	808525.710	3233.646	PC-10
11	9225583.637	808627.736	3231.908	PC-11
12	9225714.572	808596.752	3226.705	PC-12
16	9225767.012	808361.804	3223.380	PC-16
17	9225845.137	808100.413	3217.495	PC-17
19	9225991.751	807929.762	3241.994	PC-19
20	9225909.854	807926.332	3215.947	PC-20

LEYENDA-PLANTA

CURVA MAESTRA EXISTENTE CADA 5m.	— 4200 —
CURVA SECUNDARIA EXISTENTE CADA 1m.	— 1000 —
RIO	
PUNTOS DE CONTROL	
EJE DEL RIO (PROGRESIVAS)	

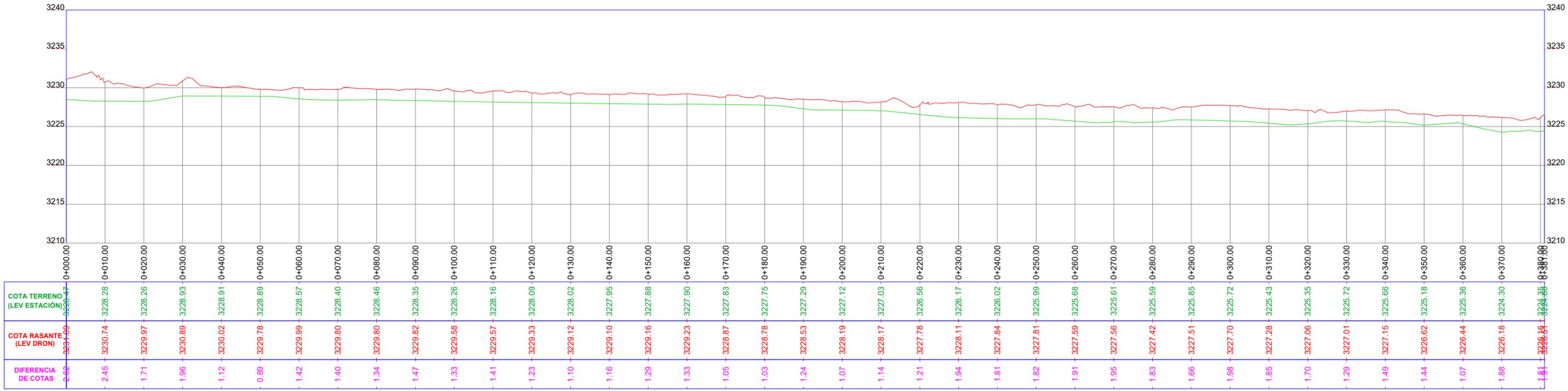
PLANO TOPOGRAFICO
ESC:1/1,250



Anexo 05. Planos topográficos comparativo drone - estación total

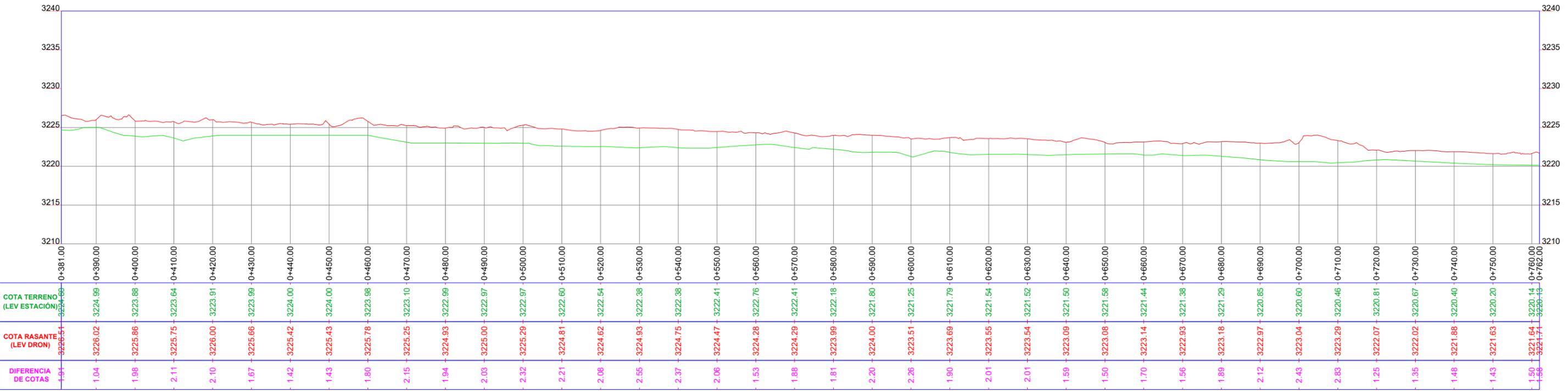
PERFIL LONGITUDINAL ESTACIÓN TOTAL VS DRONE PROG. KM 0+000.00 - PROG. KM 0+381.00 ESCALA H = 1:1000 V = 1:500

LEYENDA - PERFIL	
LEVANTAMIENTO CONVENCIONAL (ESTACIÓN)	—
LEVANTAMIENTO FOTOGRAMÉTRICO (DRONE)	—



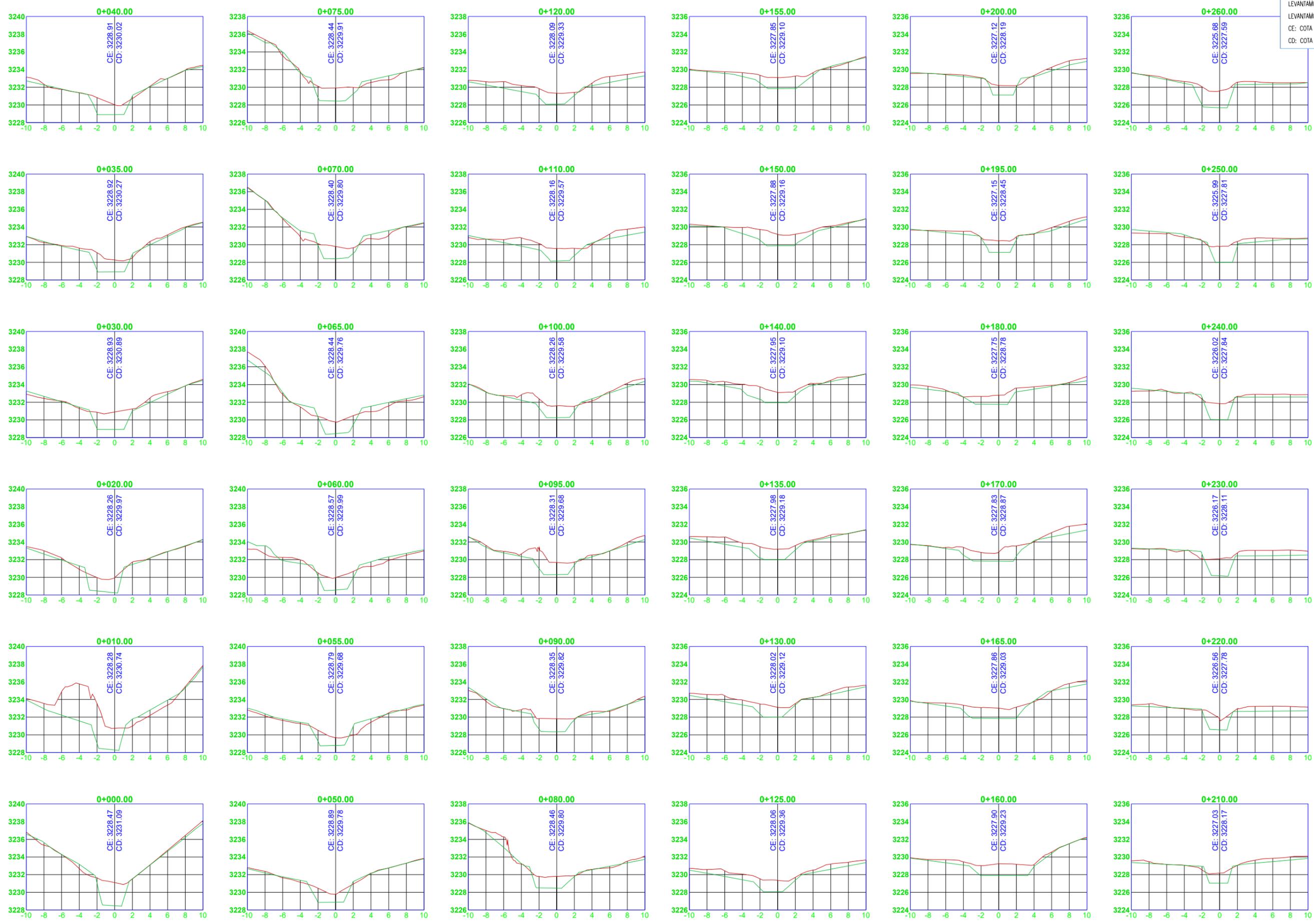
PERFIL LONGITUDINAL ESTACIÓN TOTAL VS DRONE PROG. KM 0+381.00 - PROG. KM 0+762.00 ESCALA H = 1:1000 V = 1:500

LEYENDA - PERFIL	
LEVANTAMIENTO CONVENCIONAL (ESTACIÓN)	—
LEVANTAMIENTO FOTOGRAMÉTRICO (DRONE)	—



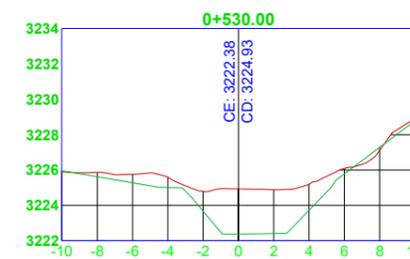
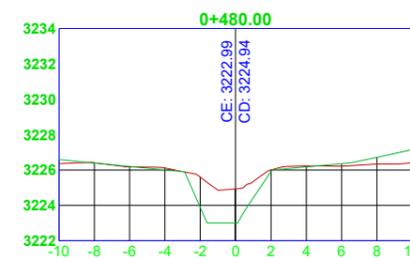
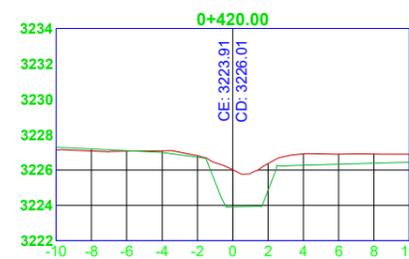
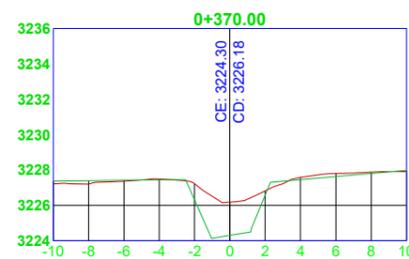
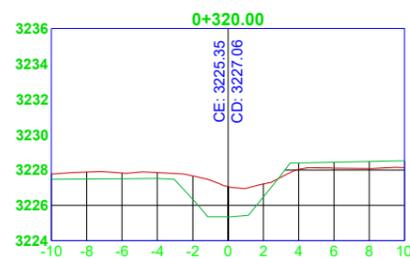
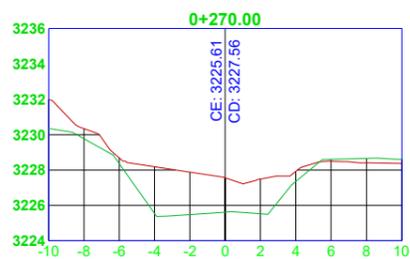
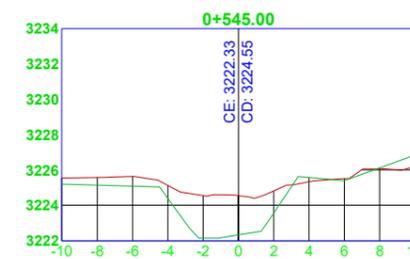
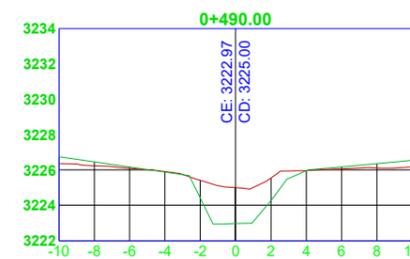
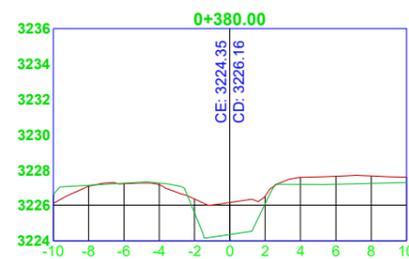
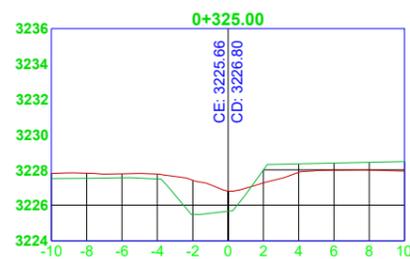
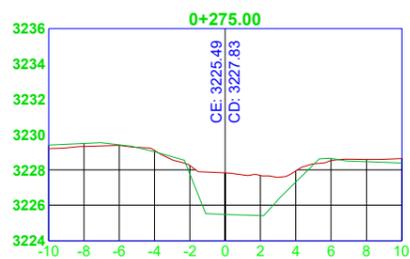
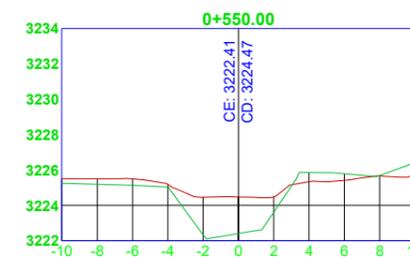
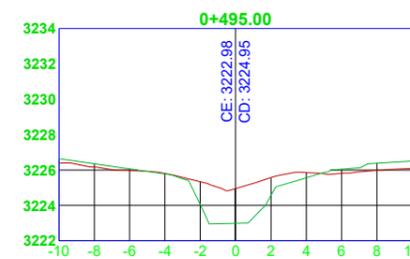
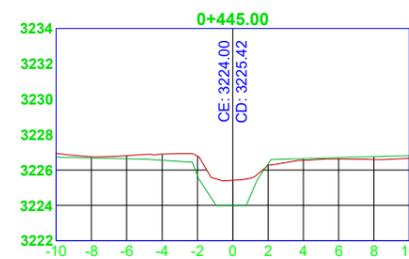
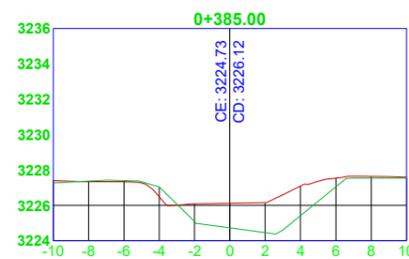
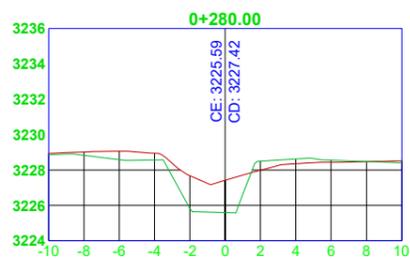
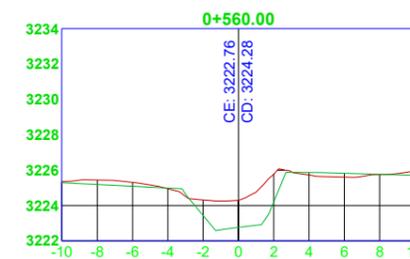
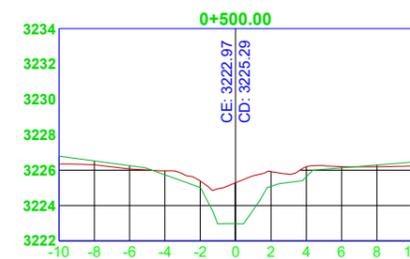
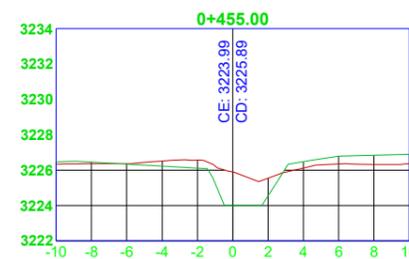
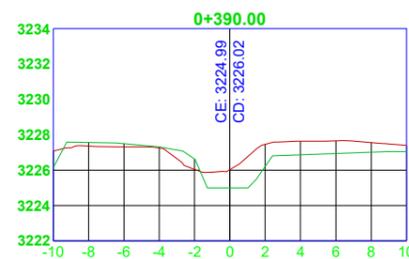
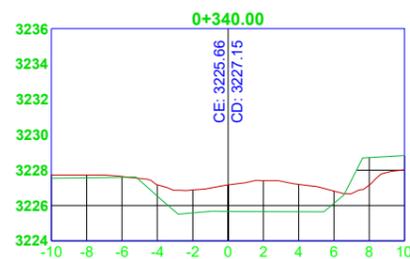
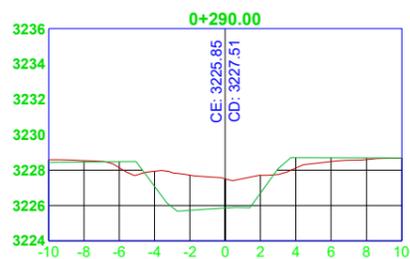
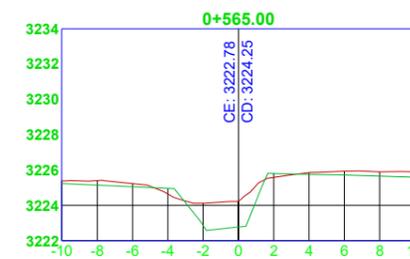
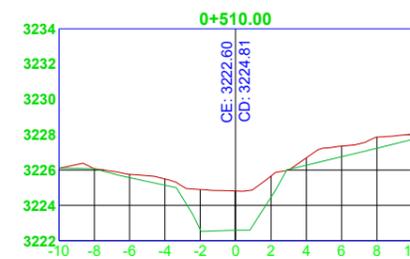
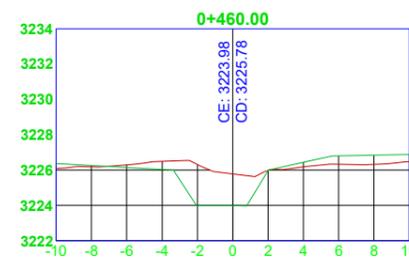
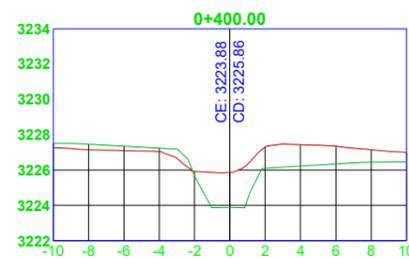
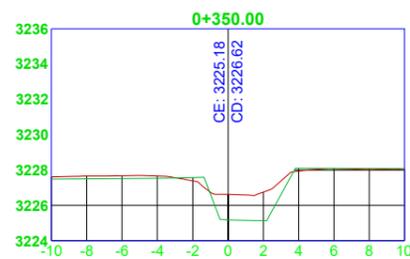
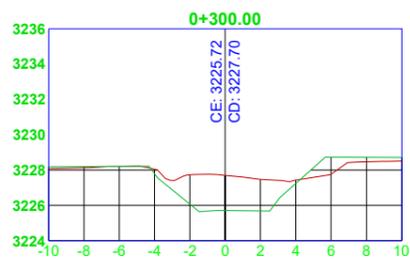
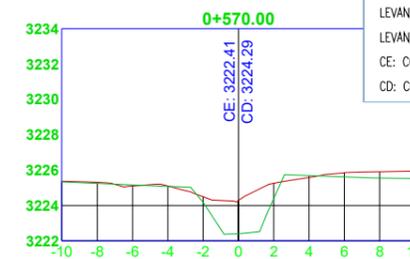
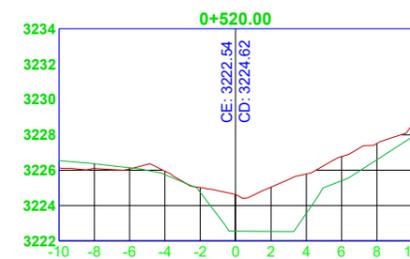
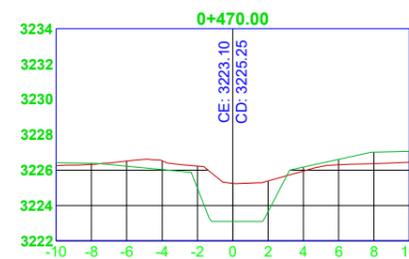
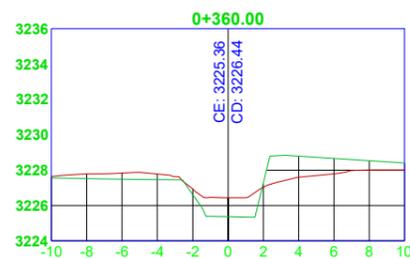
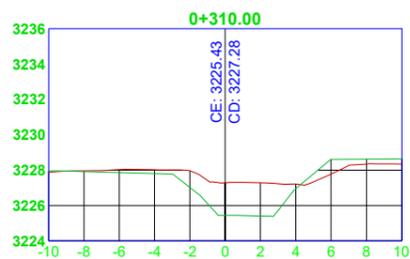
LEYENDA-SECCIONES

- LEVANTAMIENTO CONVENCIONAL (ESTACION) —
- LEVANTAMIENTO FOTOGRAMÉTRICO (DRONE) —
- CE: COTA DE LEVANTAMIENTO CON ESTACION
- CD: COTA DE LEVANTAMIENTO CON DRON



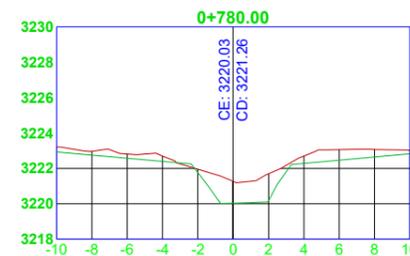
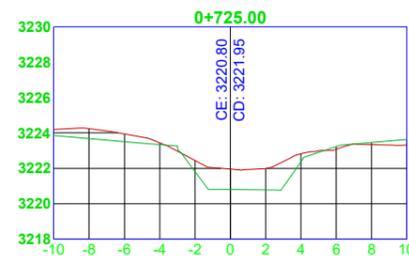
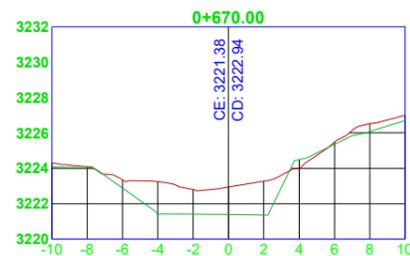
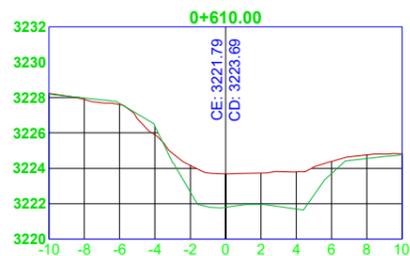
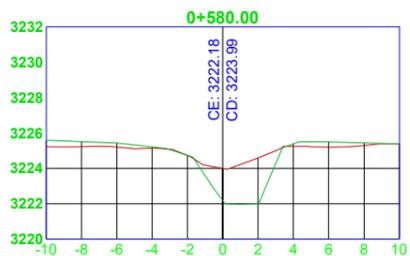
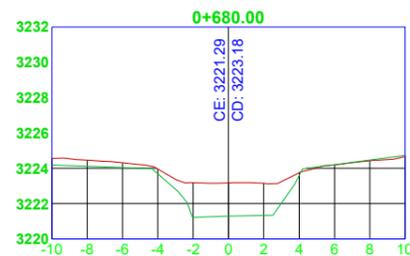
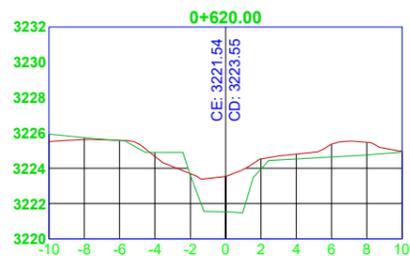
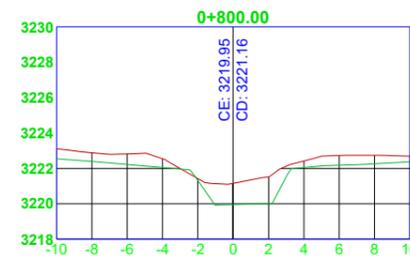
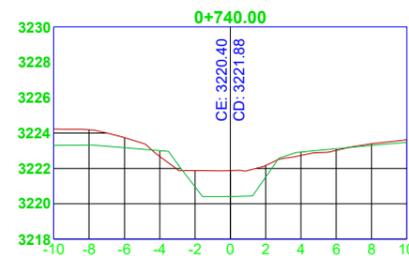
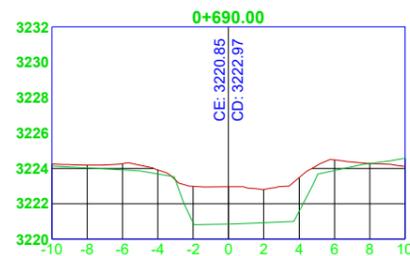
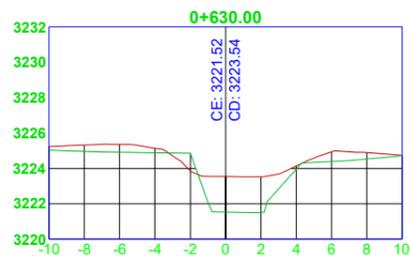
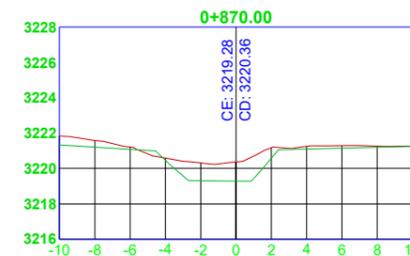
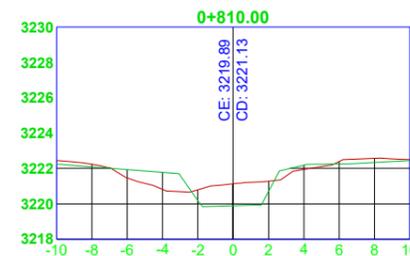
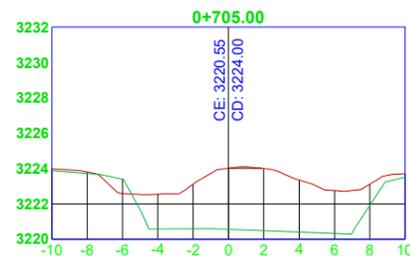
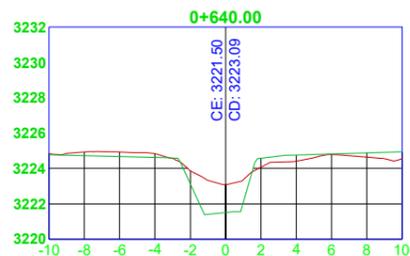
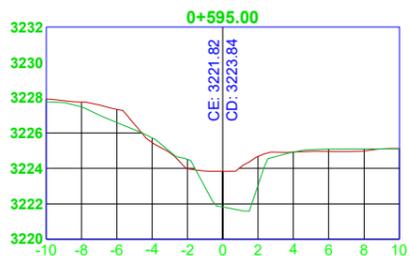
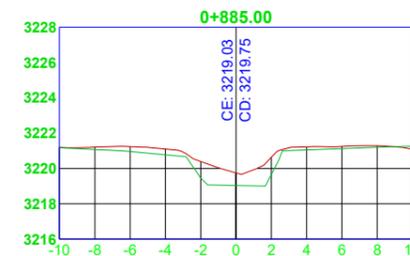
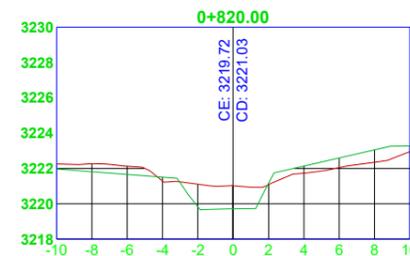
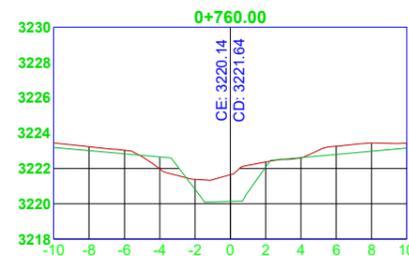
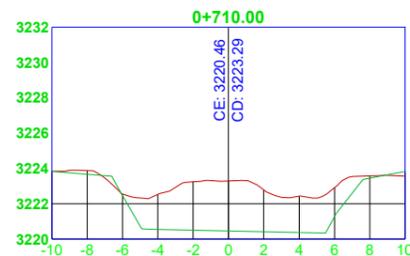
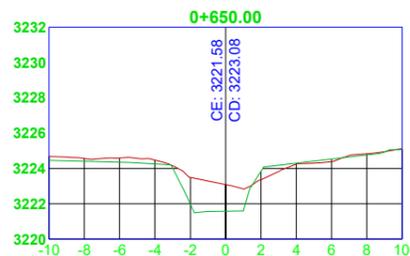
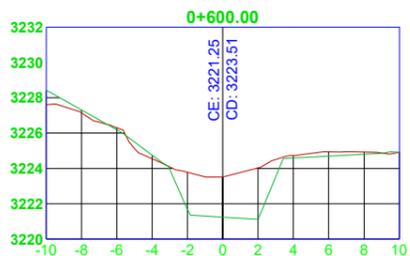
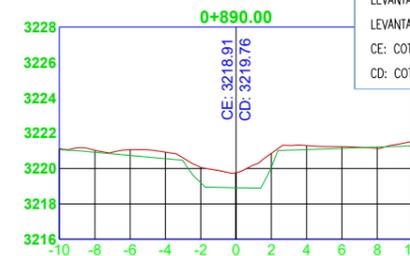
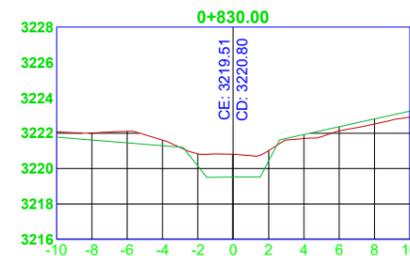
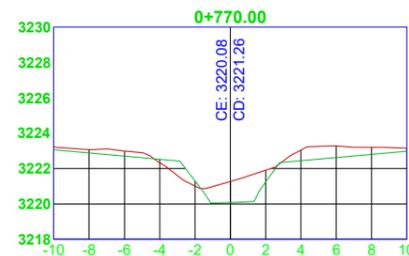
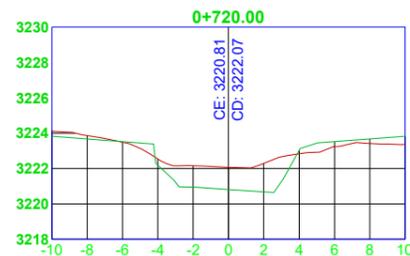
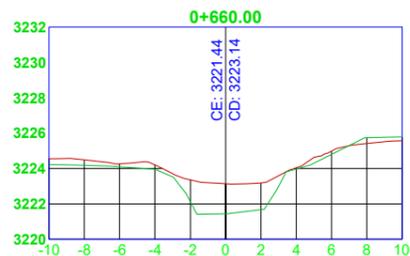
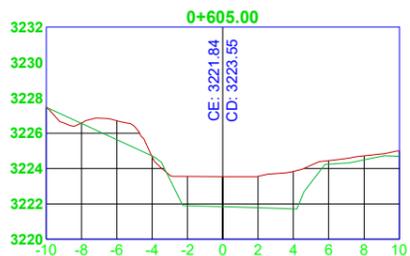
LEYENDA-SECCIONES

- LEVANTAMIENTO CONVENCIONAL (ESTACION) —
- LEVANTAMIENTO FOTOGRAFETRICO (DRONE) —
- CE: COTA DE LEVANTAMIENTO CON ESTACION
- CD: COTA DE LEVANTAMIENTO CON DRON



LEYENDA-SECCIONES

LEVANTAMIENTO CONVENCIONAL (ESTACION) ———
 LEVANTAMIENTO FOTOGRAFOMETRICO (DRONE) ———
 CE: COTA DE LEVANTAMIENTO CON ESTACION
 CD: COTA DE LEVANTAMIENTO CON DRON



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



"COMPARACIÓN DE LA PRECISIÓN DE UN LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO UTILIZANDO DRONE PHANTOM 4 PRO V2.0 Y ESTACIÓN TOTAL LEICA T506 PLUS 2" EN LA MICROREPRESA SENDAMAL, DISTRITO DE HUASMIN-PROVINCIA DE CELENDIN-CAJAMARCA"

TESISTA:
 Bach. ERICK JAVIER RUBIO BRICEÑO
 ASESOR:
 M.Cs. Ing. ALEJANDRO CUBAS BECERRA

PLANO:
 PLANO TOPOGRÁFICO
 COMPARATIVO EN SECCIONES
 TRANSVERSALES DE
 KM 1+100 HASTA KM1+521.76

REV N°01:
 REV N°02:
 REV N°03:
 REV N°04:

DEPARTAMENTO:
 CAJAMARCA
 PROVINCIA:
 CELENDÍN

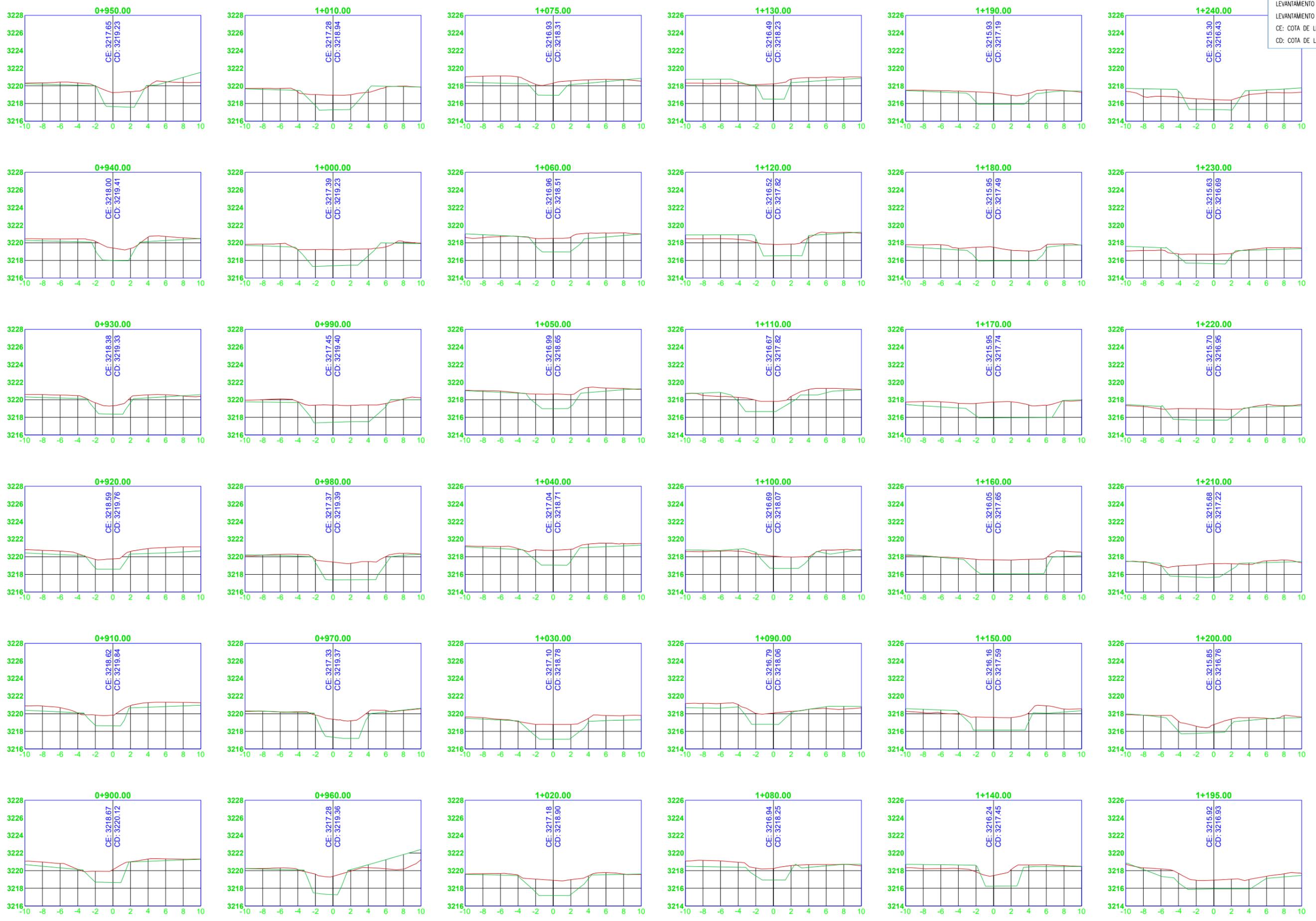
DISTRITO:
 HUASMIN
 DATUM:
 CAJAMARCA

ESCALA:
 1:500
 FECHA:
 AGOSTO 2024

PLANO:
ST-03

LEYENDA-SECCIONES

LEVANTAMIENTO CONVENCIONAL (ESTACION) ———
 LEVANTAMIENTO FOTOGRAFOMETRICO (DRONE) ———
 CE: COTA DE LEVANTAMIENTO CON ESTACION
 CD: COTA DE LEVANTAMIENTO CON DRON



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



"COMPARACIÓN DE LA PRECISIÓN DE UN LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO UTILIZANDO DRONE PHANTOM 4 PRO V2.0 Y ESTACIÓN TOTAL LEICA TS06 PLUS 2" EN LA MICROREPRESA SENDAMAL, DISTRITO DE HUASMIN-PROVINCIA DE CELENDIN-CAJAMARCA"

TESISTA: Bach. ERICK JAVIER RUBIO BRICEÑO
 ASESOR: M.Cs. Ing. ALEJANDRO CUBAS BECERRA

PLANO: PLANO TOPOGRÁFICO COMPARATIVO EN SECCIONES TRANSVERSALES DE KM 1+100 HASTA KM1+521.76

REV N°01:
 REV N°02:
 REV N°03:
 REV N°04:

DEPARTAMENTO: CAJAMARCA
 PROVINCIA: CELENDÍN

DISTRITO: HUASMIN
 DATUM: CAJAMARCA

ESCALA: 1:400
 FECHA: AGOSTO 2024

PLANO: ST-04

LEYENDA-SECCIONES

LEVANTAMIENTO CONVENCIONAL (ESTACION) ———
 LEVANTAMIENTO FOTOGRAFOMETRICO (DRONE) ———
 CE: COTA DE LEVANTAMIENTO CON ESTACION
 CD: COTA DE LEVANTAMIENTO CON DRON

