



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA TOPOGRÁFICA Y
AGRIMENSURA



COMPARACIÓN DE LA PRECISIÓN ABSOLUTA
GEOREFERENCIADA DE UN ORTOMOSAICO GENERADO CON
VUELO DE RPAS EBEE X PPK BAJO INFLUENCIA DE AJUSTE
CON PUNTOS DE FOTOCONTROL

TESIS

PRESENTADA POR:

LUIS EDMEL VILCANQUI COPAJA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO TOPÓGRAFO Y AGRIMENSOR

PUNO – PERÚ

2025



LUIS EDMEL VILCANQUI COPAJA

COMPARACIÓN DE LA PRECISIÓN ABSOLUTA GEOREFERENCIADA DE UN ORTOMOSAICO GENERADO CON ...

My Files

My Files

Universidad Nacional del Altiplano

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid:::8254:461031913

Fecha de entrega
20 may 2025, 8:59 p.m. GMT-5

Fecha de descarga
20 may 2025, 9:04 p.m. GMT-5

Nombre de archivo
TESIS_L_VILCANQUI_C_19_05.docx

Tamaño de archivo
24.3 MB

150 Páginas

19.969 Palabras

110.272 Caracteres





11% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

Filtered from the Report

- Bibliography
- Quoted Text
- Cited Text
- Small Matches (less than 10 words)

Top Sources

- 10% Internet sources
- 2% Publications
- 7% Submitted works (Student Papers)

Integrity Flags


0 Integrity Flags for Review

No suspicious text manipulations found.

Our system's algorithms look deeply at a document for any inconsistencies that would set it apart from a normal submission. If we notice something strange, we flag it for you to review.

A Flag is not necessarily an Indicator of a problem. However, we'd recommend you focus your attention there for further review.


Dr. Luis Alberto Mamani Huanc.
ASESOR.


V. CONDORI A.
SUB DIRECTOR DE INVESTIGACION
EYTA





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA TOPGRÁFICA Y
AGRIMENSURA

COMPARACIÓN DE LA PRECISIÓN ABSOLUTA GEOREFERENCIADA DE UN
ORTOMOSAICO GENERADO CON VUELO DE RPAS EBEE X PPK BAJO
INFLUENCIA DE AJUSTE CON PUNTOS DE FOTOCONTROL

TESIS PRESENTADA POR:

LUIS EDMEL VILCANQUI COPAJA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO TOPÓGRAFO Y AGRIMENSOR

APROBADA POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:



Handwritten signature
CONDORI

PRESIDENTE:

Handwritten signature
.....

M.Sc. SERGIO ISIDRO QUISPE

PRIMER MIEMBRO:

Handwritten signature
.....

Ing. WILLIAM FREDY CONDORI CANAHUA

SEGUNDO MIEMBRO:

Handwritten signature
.....

Ing. ALFREDO PONCE FLORES

ASESOR DE TESIS:

Handwritten signature
.....

M.Sc. LUIS ALBERTO MAMANI HUANCA

ÁREA: Topografía, geodesia, cartografía y catastro

TEMA: Fotogrametría y ciencias geoespaciales

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 08 de mayo de 2025



DEDICATORIA

Dedico esta investigación a mis padres, Andrés y Marianela, por su apoyo moral, amor incondicional, y su esfuerzo constante en llevar adelante mi formación académica y profesional.

Dedico también esta investigación a mi hermano Henry, por su complicidad y lealtad, que ahora también es mi ejemplo de valentía y decisión.



AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional del Altiplano - Puno, testigo de los altibajos académicos en sus pasillos y aulas llenos de enseñanzas. Los cinco años de formación profesional me demostraron que no me equivoqué al elegir esta universidad, me llevo gratos recuerdos y una experiencia memorable.

A los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Topográfica y Agrimensura, que compartieron conocimientos, metodologías y experiencias como pilares fundamentales para un gran desempeño profesional.

Agradezco a mi director de tesis, Dr. Luis Alberto Mamani Huanca, por su dedicación y orientación continua para lograr culminar esta investigación; además, al Ing. Jimmy Augusto Choque Huayhua, quien alimentó mi interés por las ciencias geoespaciales y la gestión del territorio.

Agradezco también al Ing. Omar Flores Gómez y a Ing. Edwin Cruz Quispe, quienes pusieron toda su confianza en mis habilidades y desempeño profesional; y me motivaron para atreverme a asumir más retos y responsabilidades.



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
LISTA DE ACRÓNIMOS	
RESUMEN	21
ABSTRACT.....	22
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	23
1.1.1 Problema general.....	24
1.1.2 Problemas específicos	24
1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	24
1.3 LIMITACIONES DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	25
1.4 OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN	26
1.4.1 Objetivo general	26
1.4.2 Objetivos específicos	26

CAPÍTULO II



REVISIÓN DE LITERATURA

2.1	ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	27
2.1.1	Antecedentes Internacionales.....	27
2.1.2	Antecedentes Nacionales	30
2.1.3	Antecedentes Regionales	33
2.2	MARCO TEÓRICO	35
2.2.1	Topografía.....	35
2.2.2	Sistemas de representación topográfica	39
2.2.3	Levantamiento topográfico	39
2.2.4	La geodesia.....	41
2.2.5	Geoide	42
2.2.6	Desplazamiento	43
2.2.7	Modelo digital de elevaciones.....	44
2.2.8	Georreferenciación	47
2.2.9	Fotogrametría	48
2.2.10	GSD.....	53
2.2.11	Dron eBee X.....	53
2.2.12	Modos de vuelo eBee X	54
2.2.13	Adquisición de datos	55
2.2.14	Software de planeamiento de vuelo en eMotion 3	55
2.2.15	Software Pix4D	58
2.2.16	Software Arcgis Pro	58



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1	ZONA DE APLICACIÓN.....	59
3.1.1	Ubicación política	59
3.1.2	Ubicación geográfica en coordenadas UTM.....	60
3.1.3	Ruta de acceso.....	61
3.2	MATERIALES Y EQUIPOS.....	61
3.2.1	Materiales de escritorio	61
3.2.2	Equipos requeridos.....	62
3.2.3	Softwares.....	62
3.3	METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.....	62
3.3.1	Enfoque de investigación	62
3.3.2	Tipo de investigación	63
3.3.3	Nivel de investigación.....	63
3.3.4	Estadística de prueba.....	64
3.3.5	Error de muestra y nivel de confianza.....	64
3.3.6	Población.....	64
3.3.7	Muestra.....	64
3.4	PROCEDIMIENTO PARA EL PRIMER OBJETIVO	65
3.4.1	Recolección de datos registrados método directo	65
3.4.2	Proceso de recolección de datos método indirecto	69
3.5	PROCEDIMIENTO PARA EL SEGUNDO OBJETIVO.....	98



3.5.1	Creación de Proyecto en Pix4D para Generación de Nuevos Productos	98
3.5.2	Adición de Puntos de Fotocontrol (PFC) en Pix4D	100
3.5.3	Obtención y Extracción de Datos de Elevación	105

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1	RESULTADOS PARA EL PRIMER OBJETIVO	116
4.1.1	Diferencia y desplazamiento de las coordenadas.....	117
4.2	RESULTADOS PARA EL SEGUNDO OBJETIVO.....	119
4.3	ANÁLISIS ESTADÍSTICO Y PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA EL PRIMER OBJETIVO ESPECÍFICO	126
4.3.1	Análisis estadístico para las coordenadas Este.....	126
4.3.2	Análisis estadístico para las coordenadas Norte	128
4.4	ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA EL SEGUNDO OBJETIVO ESPECÍFICO	131
4.4.1	Análisis estadístico para alturas	131
4.5	DISCUSIONES.....	133
4.5.1	Ámbito internacional.....	133
4.5.2	Ámbito nacional	135
4.5.3	Ámbito regional	135
V.	CONCLUSIONES.....	137
VI.	RECOMENDACIONES	138
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	139



ANEXOS..... 144



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Ubicación geográfica WGS 84 del área de estudio	60
Tabla 2 Resumen de datos	68
Tabla 3 Resumen de Coordenadas: Método Indirecto (Promedio Marcas Manuales) vs. Método Directo (GNSS).....	97
Tabla 4 Diferencias y Distancias entre Coordenadas: Método Indirecto vs. Método Directo.....	98
Tabla 5 Comparación de Elevaciones: DSM sin PFC vs. DSM con PFC	108
Tabla 6 Coordenadas obtenidas con el receptor GNSS.	116
Tabla 7 Coordenadas obtenidas manualmente con ArcGispro.	116
Tabla 8 Diferencia de desplazamiento en Norte y Este.	117
Tabla 9 Cotas de Muestra_DSM_sinPFC y Muestra_DSM_sinPFC.....	119



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Planimetría.....	37
Figura 2 Altimetría.....	37
Figura 3 Topografía integral.	38
Figura 4 Plano cartesiano.....	39
Figura 5 Diferencia entre geodesia y cartografía.....	42
Figura 6 Desplazamiento de coordenadas.....	43
Figura 7 MDS y MDT.....	47
Figura 8 Altura de vuelo	50
Figura 9 Reconstrucción del modelo.	51
Figura 10 Formas de traslape.....	52
Figura 11 Ubicación política.....	59
Figura 12 Ubicación geográfica.....	60
Figura 13 Ruta de acceso	61
Figura 14 Datos de recolección para punto pc01	65
Figura 15 Datos de recolección para punto pc02.....	66
Figura 16 Datos de recolección para punto pc03	66
Figura 17 Datos de recolección para punto pc04.....	67
Figura 18 Datos de recolección para punto pc05	67
Figura 19 Datos de recolección para punto pc06.....	68
Figura 20 ConvertToRinex	69



Figura 21	Abrimos el archivo	70
Figura 22	Verificamos los datos en ConvertToRinex.....	70
Figura 23	Aplicamos Convert files	71
Figura 24	Verificación de la data RINEX.....	71
Figura 25	Directorios organizados para el procesamiento de datos.	72
Figura 26	Vista general en la pestaña Postvuelo de eMotion	73
Figura 27	Verificación del directorio para la creación del proyecto en eMotion 3.23.	73
Figura 28	Selección de archivo de registro de vuelo en formato BB3.	74
Figura 29	Verificación del código de la misión y el registro BB3 en eMotion 3.23..	74
Figura 30	Precisiones alcanzadas sin corrección GNSS.....	75
Figura 31	Selección de data Renix.....	75
Figura 32	Ingreso de coordenadas	76
Figura 33	Reporte de monumento de la placa de bronce.....	76
Figura 34	Resultados de las geoetiquetas post procesadas.	77
Figura 35	Comparación de geoetiquetas en vuelo y post procesadas.	77
Figura 36	Selección de carpeta con imágenes recuperadas para geoetiquetado.	78
Figura 37	Proceso de lectura de archivos ingresados para geoetiquetado.	78
Figura 38	Ventana de resultados de coincidencia de imágenes y desfase de emparejamiento.	79
Figura 39	Ventana final de geoetiquetado y selección de archivos de salida.	79
Figura 40	Selección de archivos para la generación de archivos de salida.	80
Figura 41	Ventana final de registro y organización de archivos en eMotion 3.23.	80



Figura 42	Ventana de registro en Pix4Dmapper.....	81
Figura 43	Creación de un nuevo proyecto en Pix4Dmapper.	81
Figura 44	Selección de directorio de imágenes en Pix4Dmapper.	82
Figura 45	Imágenes seleccionadas para el procesamiento en Pix4Dmapper.....	82
Figura 46	Verificación de propiedades de fotografías aéreas en Pix4Dmapper.	83
Figura 47	Selección de sistemas de coordenadas de salida en Pix4Dmapper	84
Figura 48	Elección de plantillas para procesamiento en Pix4Dmapper.	85
Figura 49	Vista general Pix4Dmapper.....	85
Figura 50	Revisión de datos de misión en eMotion 3.23.....	85
Figura 51	Configuración de parámetros en Pix4Dmapper.	86
Figura 52	Configuración del procesamiento inicial en la pestaña general de Pix4Dmapper.....	87
Figura 53	Configuración de coincidencias en la pestaña de procesamiento inicial de Pix4Dmapper.....	87
Figura 54	Configuración de calibración en la pestaña de procesamiento inicial de Pix4Dmapper.....	88
Figura 55	Configuración de la densidad de puntos en la pestaña Nube de puntos de Pix4Dmapper.....	88
Figura 56	Configuración de la malla texturizada 3D en Pix4Dmapper.....	89
Figura 57	Configuración de opciones avanzadas en la pestaña Nube de puntos y malla de Pix4Dmapper.	89
Figura 58	Personalización de la resolución espacial en la pestaña DSM y ortomosaico.	90



Figura 59	Configuración de archivos de salida adicionales en Pix4Dmapper.....	90
Figura 60	Configuración de la calculadora de índices en Pix4Dmapper.....	91
Figura 61	Configuración de recursos y notificaciones en Pix4Dmapper.	91
Figura 62	Opciones de procesamiento marcadas en Pix4Dmapper.....	92
Figura 63	Procesamiento de imágenes en Pix4Dmapper.....	92
Figura 64	Procesamiento finalizado en Pix4Dmapper.....	93
Figura 65	Directorio del ortomosaico en el software GIS.	93
Figura 66	Vista del ortomosaico georreferenciado en el software GIS.....	94
Figura 67	Coordenadas GNSS sobre ortomosaico en el software GIS.....	94
Figura 68	Superposición de datos GNSS sobre ortomosaico en el software GIS.	95
Figura 69	Posicionamiento de receptor GNSS sobre puntos de fotocontrol.	95
Figura 70	Dispersión de puntos marcados por estudiantes en comparación con datos GNSS.....	96
Figura 71	Promedio de dispersión de puntos marcados por estudiantes en comparación con datos GNSS.....	97
Figura 72	Creación de nueva carpeta en el directorio de proyecto.....	99
Figura 73	Barra de procesamiento en Pix4D con pasos 2 y 3 en rojo.	99
Figura 74	Acceso al administrador de Puntos en Pix4Dmapper.....	100
Figura 75	Importación de puntos de control (GCPs) en Pix4Dmapper.	100
Figura 76	Selección del archivo CSV para importación de GCPs en Pix4Dmapper.	101
Figura 77	Verificación de puntos GNSS en Pix4Dmapper.	101
Figura 78	Visualización de puntos de fotocontrol en Pix4Dmapper.	102



Figura 79	Marcado manual de puntos de fotocontrol en Pix4Dmapper.	102
Figura 80	Marcado de puntos en el vértice interior de la marca en Pix4Dmapper...	103
Figura 81	Aplicación de puntos de fotocontrol en Pix4Dmapper.....	103
Figura 82	Finalización del marcado de puntos de fotocontrol en Pix4Dmapper.....	104
Figura 83	Reoptimización del modelo en Pix4Dmapper.	104
Figura 84	Trazado de vías en formato vectorial dentro del ortomosaico.....	105
Figura 85	Creación de puntos aleatorios sobre el trazado de vías en ArcGIS.....	106
Figura 86	Extracción de valores de elevación a puntos en ArcGIS.....	106
Figura 87	Unión espacial por intersección en ArcGIS.	107
Figura 88	Organización de datos de elevación en ArcGIS.	107
Figura 89	Comparación visual de ambos modelos digitales de superficie (DSM)...	108
Figura 90	Análisis del punto aleatorio 3 en ArcGIS Pro.	114
Figura 91	Desplazamiento en el DSM con respecto al punto aleatorio en ArcGIS Pro.	114
Figura 92	Desplazamiento de coordenadas en este.....	118
Figura 93	Desplazamiento de coordenadas en norte.....	119
Figura 94	Diferencia entre Muestra_DSM_sin_PFC y Muestra_DSM_cON_PFC	125
Figura 95	Prueba de normalidad.	126
Figura 96	Prueba de T Student.....	127
Figura 97	Prueba de normalidad.	129
Figura 98	Prueba de T Student.....	130
Figura 99	Prueba de normalidad.	131



Figura 100 Prueba de U de Mann Whitney..... 132



ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1	Marcado manual de PFC con PERSONAL con conocimientos de GIS..	144
ANEXO 2	Indicaciones y apoyo para el marcado manual de PFC con PERSONAL con conocimientos de GIS.....	144
ANEXO 3	Certificado de operatividad de receptor GNSS (N° serie 6102F00254) .	145
ANEXO 4	Certificado de operatividad de receptor GNSS (N° serie 6053F00559) .	146
ANEXO 5	Certificado de punto geodésico TAC 01083	147
ANEXO 6	Ubicación y localización del proyecto.....	148



LISTA DE ACRÓNIMOS

DSM:	DSM Digital Surface Model (MDS) Modelo Digital de Superficie
DTM:	DTM Digital Terrain Model (MDT) Modelo Digital de Terreno
GCP:	GCP Ground Control Point (PFC) Punto de Fotocontrol
GIS:	Geographic Information System (SIG) Sistema de Información Geográfica.
GNSS:	Global Navigation Satellite System. Sistema global de Navegacion por Satelite
GSD:	Ground Sampling Distance. Distancia de Muestreo en tierra
IGN:	Instituto Geográfico Nacional.
PPK:	Post Processed Kinematic
RPAS:	Remotely Piloted Aircraft System. Sistema de Aeronave Pilotada Remotamente
RTK:	Real Time Kinematic
UTM:	Universal Transversal Mercator
WGS:	World Geodetic System. Sistema Geodesico Mundial



RESUMEN

Esta investigación se realizó con datos de un terreno ubicado en el valle del río Sama, distrito de Sama, provincia de Tacna, Departamento de Tacna; con el propósito de mostrar la precisión del RPAS eBee X en modo PPK, comparando los productos fotogramétricos sin influencia de ajuste con puntos de fotocontrol contra los productos fotogramétricos ajustados a puntos de fotocontrol, empleándose el mismo paquete de fotografías y fueron procesados en el software Pix4D. Se tomó como referencia un grupo de puntos de fotocontrol obtenidos con un receptor GNSS marca Trimble modelo R12. Para alcanzar el primer objetivo, se realizó un procesamiento con las imágenes obtenidas por el RPAS eBee X, con un GSD de 2 centímetros, sin marcado de puntos de fotocontrol. Posterior, se procesó otra vez incluyendo el marcado de puntos de fotocontrol, obteniendo los productos. El primer producto (ortomosaico) fue colocado en un software GIS, donde personal con conocimientos en GIS realizaron el marcado del punto de fotocontrol, obteniendo datos en Este y Norte. Se promedió y se registró la dimensión desde la referencia base de los puntos de fotocontrol registrados (segundo ortomosaico), hasta la marca promedio del punto de fotocontrol que se sintetizó en el primer ortomosaico; comparando las coordenadas manuales Este y Norte, contra las coordenadas provenientes del sistema GNSS. En este primer objetivo, ambos escenarios se analizaron con el estadístico de prueba T-Student; se compararon para validar o rechazar la hipótesis nula. Para alcanzar el segundo objetivo específico se generó 2 superficies: la primera sin puntos de fotocontrol, y la segunda se generó tras la reoptimización con puntos de fotocontrol marcados manualmente por el investigador. Se colocó ambos productos raster con datos de elevación en un software GIS donde se generó puntos aleatorios y por medio de una herramienta de extracción del valor de pixel, se obtuvo los valores de elevación para el análisis. En este segundo objetivo, el escenario se evaluó con el estadístico de prueba U de Mann-Whitney, para validar o rechazar la hipótesis nula. Tras el análisis realizado en ambos objetivos, los resultados fueron los siguientes: se obtuvo mediciones residuales promedio de hasta 1.7 centímetros en Este, y 2.3 centímetros en Norte, los cuales son menores a los datos indicados por el fabricante. Además, se obtuvo mediciones residuales promedio de hasta 23.2 centímetros en elevaciones.

Palabras clave: eBee, fotocontrol, fotogrametría, PPK.



ABSTRACT

This research was carried out with data from a field located in the Sama River Valley, Sama District, Tacna Province, Tacna Department. It was carried out with the purpose of showing the accuracy of the RPAS eBee X in PPK mode, comparing the photogrammetric products without the influence of adjustment with photocontrol points against the photogrammetric products adjusted to photocontrol points, with a common characteristic that the same package of photographs was used and they were processed in the Pix4D software. A group of photocontrol points obtained with a Trimble R12 GNSS receiver was taken as a reference. To achieve the first objective, processing was carried out with the images obtained by the RPAS eBee X, with a GSD of 2 centimeters, without marking photocontrol points. Later, it was processed again including the marking of photocontrol points, obtaining the products. The first product (orthomosaic) was placed in a GIS software, where people with knowledge of GIS marked the photocontrol point, obtaining data in East and North. The dimension was averaged and recorded from the base reference of the recorded photocontrol points (second orthomosaic), to the average mark of the photocontrol point that was synthesized in the first orthomosaic; comparing the manual East and North coordinates, against the coordinates from the GNSS system. In this first objective, both scenarios were analyzed with the T-Student test statistic; they were compared to validate or reject the null hypothesis. To achieve the second specific objective, 2 surfaces were generated: the first without photocontrol points, and the second was generated after reoptimization with control points manually marked by the researcher. Both raster products with elevation data were placed in a GIS software where random points were generated and through a pixel value extraction tool, the elevation values were obtained. In this second objective, the scenario was tested with the Mann-Whitney U test statistic, to validate or reject the null hypothesis. After the analysis carried out on both objectives, the results were the following: average residual measurements of up to 1.7 centimeters in the East, and 2.3 centimeters in the North were obtained, which are lower than the data indicated by the manufacturer. In addition, average residual measurements of up to 23.2 centimeters were obtained in elevations.

Keywords: eBee, photocontrol, photogrametry, PPK.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La tecnología actual de los RPAS (Vehículo aéreo pilotado remotamente) y la posibilidad de que puedan equiparse con distintos tipos de cámaras y sensores son de las tecnologías más modernas que se han incorporado en los últimos años (Peña & de Castro, 2023). Estos avances en hardware y software para digitalizar la realidad y tomar decisiones generan gran impacto en el campo de estudio, por consecuencia, los drones desempeñan múltiples funciones en la agricultura, como el mapeo de campos, la vigilancia y monitoreo de los cultivos (CropLife Latin America, 2021). El Perú es atravesado por la cordillera de los andes, la cual genera diversos pisos altitudinales y con características únicas en cada provincia, lo que llama a seguir usando equipos topográficos tradicionales y limitarse a sus métodos ante la llegada de los drones. Es un hecho que sin los procedimientos debidos, los drones no alcanzan precisiones óptimas para trabajos de topografía, causando desconfianza tanto en profesionales como en usuarios; como consecuencia diversas instituciones inmersas en el catastro rural, saneamiento de predios y actualizaciones de bases gráficas no hacen uso efectivo de estos equipos RPAS, el cual diversos países ya están empleando, logrando resultados de buena precisión tanto horizontal como vertical sin el empleo de puntos de fotocontrol. Después de todo esto, y teniendo en cuenta la diversa geografía y geomorfología del Perú, se planteó el proyecto haciendo uso de imágenes aéreas capturadas por un RPAS eBee X sobre un terreno muestra, en determinadas condiciones ambientales, topográficas y meteorológicas en el distrito de Sama, provincia de Tacna, departamento de Tacna; donde se plantea las siguientes interrogantes:



1.1.1 Problema general

Empleando imágenes obtenidas por un RPAS eBee X en modo PPK, ¿los productos fotogramétricos generados sin puntos de fotocontrol tiene la misma precisión georreferenciada en comparación con los productos fotogramétricos generados con influencia de ajuste de puntos de fotocontrol?

1.1.2 Problemas específicos

Empleando imágenes obtenidas por un RPAS eBee X en modo PPK,

¿Un ortomosaico generado sin puntos de fotocontrol tiene la misma precisión en comparación a un ortomosaico generado con influencia de ajuste de puntos de fotocontrol?

¿Un modelo digital de superficie generado sin puntos de fotocontrol tiene la misma precisión georreferenciada que un modelo digital de superficie generado con influencia de ajuste de puntos de fotocontrol?

1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Este proyecto de investigación tomó relevancia porque si bien este es un RPAS de uso eficiente demostrado por diferentes profesionales en área de topografía, no se halló bibliografía referente al uso, aplicación y resultados de este modelo específico de RPAS en Perú; y se llevó adelante para documentar su eficiencia y precisión alcanzada en un vuelo común sobre un terreno muestra. Por una parte, el fabricante asegura precisiones horizontales menores a 3 centímetros sin uso de puntos de fotocontrol, lo cual haría de este un dron óptimo para mapeo de alta precisión en zonas donde es imposible la colocación de puntos de fotocontrol.



Y en adición, dado que este dron posee un radio de alcance bastante amplio, se puede emplear sus capacidades para sobrevolar ecosistemas, zonas de vida, predios rurales, cultivos, zonas de peligro, desastres, etc.

Con este proyecto, se contribuye al uso y aprovechamiento de este RPAS en condiciones de vuelo similares; y además se realizará una inversión de tiempo significativa en trabajo de campo a quienes pretenden mapear terrenos de dimensiones inmensas y no cuentan con suficiente personal para el trabajo de campo.

1.3 LIMITACIONES DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

En esta investigación se tuvieron las siguientes limitantes: la obtención de datos crudos de un vuelo de dron con una distribución de puntos de fotocontrol que además haya sido marcado con un sistema GNSS base y móvil. Además, los flujos de trabajo de acuerdo a la solicitud de productos finales que únicamente son entregados en formato impreso no permiten corroborar las precisiones alcanzadas debido a la escala de impresión.

Además, se tuvo limitaciones en la revisión para el contraste de detalles para la elaboración de productos, ya que el manual técnico para generación de orto imágenes, de autoría del Instituto geográfico Nacional no da alcances específicos para productos por encima de una escala 1:1000, además que sugiere una distribución de 20 PFC en proyectos menores a 500 kilómetros cuadrados, resultando absurdo la colocación de esta cantidad de PFC en predios rurales menores a 100 kilómetros cuadrados y mucho más, en predios menores a 10 kilómetros cuadrados.

Por otro lado, se tuvo limitaciones en la adquisición de software, pero fue solucionado con suscripciones temporales y licencias anuales.



1.4 OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN

1.4.1 Objetivo general

Comparar la precisión georreferenciada de los productos fotogramétricos sin influencia de ajuste de puntos de fotocontrol y los productos fotogramétricos ajustados con puntos de fotocontrol; generados con fotografías aéreas de RPAS eBee X en modo PPK

1.4.2 Objetivos específicos

Comparar la precisión horizontal de un ortomosaico sin influencia de ajuste con puntos de fotocontrol y un ortomosaico ajustado con puntos de fotocontrol, generado con vuelo de RPAS eBee X PPK marcado por personal con conocimientos en GIS.

Analizar el desplazamiento vertical de un producto fotogramétrico (modelo digital de superficie) generado con vuelo de RPAS eBee X PPK sin influencia de ajuste con puntos de fotocontrol.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1 Antecedentes Internacionales

Según Carreta et al. (2023) señalan en su estudio “Evaluación de la precisión del eBee X mediante métodos de corrección RTK y PPK en función de la distancia a una estación base GNSS”, que tuvo como objetivo examinar la precisión GNSS global del eBee X comparando los métodos RTK y PPK a diferentes distancias de la estación base en modelos fotogramétricos. Se evaluaron tres factores: los métodos RTK y PPK, el uso de un receptor GNSS local a través de fuentes de corrección de servicio caster y NTRIP, y las distancias de estación base entre 2,4 km y 42,0 km. Los vuelos del eBee X se realizaron en 2023 en tres sitios de vuelo diferentes en el suroeste de Arizona, Estados Unidos, y los valores RMSE XYZ de ocho puntos de control se midieron con métodos de estudio GNSS tradicionales. A través de pruebas ANOVA, no se encontraron diferencias estadísticas significativas en la precisión entre los métodos RTK y PPK, ni entre el uso de receptor GNSS local y el servicio NTRIP; sin embargo, hubo una diferencia estadística significativa en la precisión entre distancias de estación base de 2,4 km y 42,0 km, con distancias menores a 16,2 km mostrando una precisión significativamente mayor. Estos datos sugieren que la distancia desde la estación base del receptor GNSS afecta significativamente la precisión de los modelos fotogramétricos obtenidos con el eBee X.



Indican Gauci et al. (2018) en su investigación titulada “Evaluación de la precisión geoespacial de imágenes aéreas obtenidas con diversas plataformas UAS” tiene como objetivo medir y comparar la precisión geoespacial de las imágenes obtenidas con varias plataformas UAS a dos altitudes de vuelo. Se utilizaron cuatro plataformas equipadas con cámaras RGB (Phantom 4, eBee Ag, eBee Plus y Trimble UX5), volando a altitudes de 75 y 120 m, y el experimento se repitió tres veces. Los resultados mostraron que el uso de puntos de control terrestre (GCP) mejoró la precisión horizontal y vertical de las imágenes del Phantom 4, eBee Ag y Trimble UX5, reduciendo la variabilidad entre vuelos y mitigando el impacto de la altitud de vuelo. La tecnología RTK utilizada en el eBee Plus resultó en una precisión geoespacial muy alta, independientemente del uso de GCP. Con GCP o RTK, las precisiones horizontales oscilaron entre 1,5 y 10 cm, y las precisiones verticales entre 0,0 y 0,4 m, en contraste con las precisiones sin GCP o RTK, que variaron de 32 a 441 cm y de 1 a 126 m, respectivamente. Estos hallazgos cuantifican la precisión geoespacial de las imágenes UAS y mejoran la comprensión de la relación entre la precisión de los receptores GPS en UAS, la altitud de vuelo y la precisión de las imágenes recopiladas.

Zabota & Kobal (2021) en su investigación titulada “Evaluación de la precisión de productos derivados de la fotogrametría de vehículos aéreos no tripulados utilizando PPK y GCP en terrenos difíciles: en busca de un mapeo optimizado de caídas de rocas” tiene como objetivo principal investigar cómo se pueden producir productos fotogramétricos precisos mediante el uso de ajuste de bloques de haz (BBA) sin puntos de control terrestre (GCP), utilizando las



coordenadas calculadas con posprocesamiento cinemático (PPK). Para ello, se produjeron ortomosaicos y modelos digitales de superficie (DSM) para tres sitios de caída de rocas utilizando un DJI Phantom 4 RTK y dos métodos BBA diferentes (BBA_traditional y BBA_PPK). La precisión de los productos se evaluó utilizando el error cuadrático medio (RMSE) y pruebas estadísticas, incluyendo una prueba t de Student pareada y un rango con signo de Wilcoxon no paramétrico. Los resultados mostraron que la precisión del BBA_PPK es inferior a la del BBA_traditional, con valores RMSE totales de 0,056, 0,066 y 0,305 m en comparación con 0,019, 0,036 y 0,014 m, respectivamente. Aunque existen diferencias estadísticamente significativas entre los métodos de georreferenciación, el BBA_PPK se presenta como una solución viable para mapear áreas peligrosas y expuestas, especialmente para aplicaciones a nivel regional, ofreciendo una opción menos laboriosa y más segura que los métodos tradicionales.

Moudry et al. (2018) sostiene en su investigación titulada “Comparación de un UAV de ala fija comercial y uno de ensamblaje casero para el mapeo del terreno de un sitio post-minería en condiciones de desprendimiento de hojas” tienen como objetivo analizar los efectos de diferentes plataformas UAV en la calidad de la imagen y en sus productos derivados, como ortomosaico, modelo digital de superficie (DSM), modelo digital del terreno (DTM) y contornos. Para este estudio, se seleccionó una parte del área del campus principal de la Universiti Teknologi Malaysia, cubriendo aproximadamente 0,52 km², y se utilizaron dos tipos diferentes de plataformas UAV: eBee classic fixed wing (eBee) y DJI Phantom 4 Advanced (P4) multirotor quadcopter. El levantamiento se realizó



volando ambos UAV a 300 metros de altura, con un 75% de superposición frontal y lateral, y utilizando parámetros de cámara casi idénticos y la misma distancia de muestreo del terreno (GSD). Ocho puntos de control terrestre (GCP) se emplearon para el procesamiento de imágenes y quince puntos de control (CP) para la evaluación de la precisión, utilizando el software Pix4D para el procesamiento final. Los resultados muestran que todos los productos derivados de los UAV se produjeron exitosamente para ambos tipos de UAV, destacando que el UAV P4 superó al UAV eBee en términos de calidad. En conclusión, el UAV P4 es más práctico para la creación de mapas topográficos de pequeñas áreas debido a su capacidad de producir resultados precisos, su portabilidad, su bajo costo y otras ventajas.

2.1.2 Antecedentes Nacionales

Pari & Sedano (2018) indican en su tesis titulada “análisis, desarrollo y comparación de un levantamiento fotogramétrico realizado con un RPA frente a un levantamiento topográfico convencional realizado con GNSS - mina BARRICK, 2018” tiene como objetivo principal analizar, desarrollar y comparar un levantamiento fotogramétrico realizado con una aeronave pilotada a distancia (RPA) frente a un levantamiento topográfico convencional realizado con receptores GNSS en la mina Barrick en 2018. Para tal fin, se llevó a cabo un vuelo fotogramétrico en el asentamiento minero Lagunas Norte, operado por Barrick Gold Corporation, ubicado al norte del Perú, en el distrito de Quiruvilca, provincia de Santiago de Chuco, departamento de La Libertad, a una altura entre los 3700 y 4500 m.s.n.m. En la actualidad, la topografía ha experimentado cambios



revolucionarios y significativos gracias a la aplicación de nuevas técnicas e instrumentos que permiten realizar mediciones directas o indirectas de la superficie terrestre. Este estudio se enfoca en resaltar las ventajas y desventajas de cada metodología, proporcionando un análisis comparativo detallado de ambas técnicas de captura de información tridimensional georreferenciada. Los resultados obtenidos indican que, con un nivel de significancia del 5%, las medias de los errores absolutos de X, Y y Z se encuentran por debajo del parámetro permitido de 0.17 m, concluyendo que no existe diferencia significativa en la precisión de los levantamientos fotogramétricos realizados con RPA y los levantamientos topográficos convencionales realizados con receptores GNSS. Este hallazgo subraya la viabilidad de utilizar RPAs para levantamientos topográficos precisos en entornos mineros de alta altitud, ofreciendo una alternativa eficiente y efectiva a los métodos tradicionales.

Mendoza (2019) en su tesis “Evaluación de la precisión planimétrica y altimétrica en un levantamiento fotogramétrico realizado por una aeronave piloteada remotamente” tiene como objetivo es evaluar la precisión de un levantamiento fotogramétrico con una aeronave Phantom 4 Pro, comparándolo con métodos topográficos convencionales en un eje vial a más de 3500 m.s.n.m. La metodología incluyó vuelos fotogramétricos sobre cinco quebradas y 51 puntos de referencia, con análisis de la diferencia de valores utilizando la Raíz del Error Medio Cuadrático (RMSE). Los resultados mostraron errores menores a 12 cm en el plano y 45 cm en altitud en terrenos con grandes cambios de elevación, y errores menores a 14 cm en el plano y 21 cm en altitud en terrenos planos. Esto indica que los procedimientos fotogramétricos son válidos para proyectos rurales



(escalas de 1:500 a 1:2000), aunque se necesitarían ajustes más estrictos para trabajos urbanos, concluyendo que los RPAs ofrecen una alternativa precisa y eficiente para levantamientos topográficos en áreas rurales.

Según Guerrero (2023) en su investigación titulada “Análisis comparativo de resultados obtenidos de un levantamiento topográfico haciendo uso de drones y método tradicional Trujillo 2021” tuvo como finalidad realizar un análisis comparativo de los resultados obtenidos de un levantamiento topográfico utilizando drones y métodos tradicionales. El objetivo principal fue evaluar la precisión, el costo y el tiempo de los levantamientos topográficos con ambas metodologías. El estudio se caracterizó por ser de tipo aplicada, con un enfoque cuantitativo y un diseño de investigación transversal no experimental, empleando la técnica de observación y fichas de recolección de datos. Para la realización del estudio se emplearon tres equipos topográficos: el GPS Trimble R8, utilizado para obtener datos precisos de los BM que sirvieron de base para el análisis comparativo; la Estación Total South N4, utilizada para la metodología tradicional; y el Dron DJI Mavic 3 Enterprise, empleado para la metodología fotogramétrica. Los resultados mostraron que la precisión, el costo y el tiempo del levantamiento topográfico con la Estación Total South N4 fueron de 0.0314%, S/.1,860.00 y 23 horas respectivamente, mientras que con el Dron DJI Mavic 3 Enterprise se obtuvieron 0.1901%, S/.1,250.00 y 35.5 horas respectivamente. Se determinó que la metodología tradicional evidenció mayor precisión y requirió menos tiempo para su realización, aunque a un mayor costo. En conclusión, aunque la metodología fotogramétrica con drones ofrece un costo reducido, la



metodología tradicional sigue siendo superior en términos de precisión y eficiencia temporal para levantamientos topográficos.

2.1.3 Antecedentes Regionales

Ordoñez & Condori (2022) en su investigación titulada “Análisis de la precisión de un levantamiento topográfico utilizando fotogrametría con RPAS y su relación a la densidad de puntos de control terrestre” tiene como objetivo general analizar la precisión del levantamiento topográfico utilizando fotogrametría con RPAS y su relación con la densidad de puntos de control terrestre. Los objetivos específicos incluyen determinar la altura de vuelo más óptima para la toma de fotografías aéreas con RPAS, establecer los porcentajes adecuados de traslape de las fotografías para generar resultados más precisos, y determinar la densidad adecuada de puntos de control terrestre para la zona de estudio. La metodología de trabajo constó de cuatro etapas: preparación de la prueba de campo, recopilación de datos en campo mediante métodos directos e indirectos para levantar 20 puntos y compararlos con los obtenidos por el RPAS, procesamiento digital con software especializado, y análisis y sistematización de datos. Se analizó la precisión en función de la densidad de puntos, utilizando pruebas estadísticas como ANOVA y Tukey. Los resultados mostraron que el vuelo 1, con una altura de 100 m, traslape del 70%-80%, y una densidad de 15 puntos, fue el más próximo a los datos obtenidos con estación total. La conclusión final indica que la precisión de los levantamientos topográficos utilizando fotogrametría con RPAS depende de la densidad de puntos de control terrestre, además de estar estrechamente relacionada con un adecuado porcentaje de traslape



y una altura de vuelo óptima, factores imprescindibles para la obtención de una buena precisión.

Según Mamani & Quispe (2024) en su tesis “Análisis del levantamiento catastral GNSS Método RTK y Comparación con la base gráfica del scr en la zona rural del distrito de Taraco, provincia de Huancané, departamento de Puno 2023”. Tiene como objetivo de realizar un análisis comparativo entre el levantamiento catastral utilizando la tecnología GNSS RTK y la base gráfica del Sistema de Catastro Rural (SCR). El estudio se centró en evaluar las coordenadas del punto PCG02 conforme a la normativa del Instituto Geográfico Nacional (IGN), para determinar el desplazamiento de los centroides horizontales (Este, Norte) en las propiedades rurales de la zona. La metodología empleada fue cuantitativa y observacional, con un diseño no experimental de nivel correlacional. Se seleccionó el punto geodésico PCG02 como Rover y se georreferenció utilizando el software Leica Infinity con tecnología GNSS RTK. Los datos visuales se compararon con la base gráfica de SCR mediante análisis estadístico. Los resultados mostraron una alta correlación significativa entre los centroides, aunque los datos no siguieron una distribución normal, según la prueba de Shapiro-Wilk. La prueba de rangos de Wilcoxon reveló una disparidad significativa entre las coordenadas obtenidas con GNSS RTK y los datos de SCR, con un p-value de 0,003, indicando un desplazamiento medio de 11,13 metros en el eje "X" y 11,53 metros en el eje "Y". En conclusión, se identificó una diferencia significativa entre los datos obtenidos mediante el levantamiento catastral GNSS y la base gráfica de SCR, lo que sugiere la necesidad de ajustes en los



procedimientos de georreferenciación para mejorar la precisión en las áreas rurales estudiadas.

Cruz & Rider (2019) en su tesis titulada "Precisión de una Aeronave no Tripulada de Ala Fija en un Levantamiento Catastral Rural a Diferentes Alturas de Vuelo en Contrastación con GPS Diferencial en Modo RTK". Tuvieron como objetivo principal del estudio evaluar la precisión de un dron de ala fija en levantamientos catastrales rurales a diferentes alturas de vuelo, comparándola con la precisión obtenida mediante un sistema de posicionamiento global diferencial en tiempo real (RTK-GPS). La metodología utilizada incluyó vuelos con el dron a dos alturas distintas, 154 metros y 205 metros, y se compararon las mediciones obtenidas con las de un GPS diferencial en modo RTK. Se utilizó la prueba T de Student para analizar el desplazamiento de las coordenadas Este y Norte, y la prueba de correlación de Pearson para comparar las áreas de los terrenos rurales. Los resultados indicaron que, a un nivel de confianza del 95%, la aeronave no tripulada de ala fija proporciona resultados de precisión confiable en levantamientos catastrales rurales. Se concluye que los vuelos fotogramétricos a menor altitud con una aeronave de ala fija ofrecen mayor precisión, especialmente en terrenos con pocas irregularidades.

2.2 MARCO TEÓRICO

2.2.1 Topografía

La topografía es una disciplina que estudia las formas del relieve superficial. Por ejemplo, la topografía se refiere a montañas, valles, ríos y todas las características físicas de la superficie.



Según Mendoza (2020) la topografía es un campo de la ingeniería que recopila y procesa datos de las partes físicas del geoide para determinar la posición relativa de los puntos. Se supone que la superficie terrestre observada es horizontal y plana. En resumen, la topografía se encarga de realizar mediciones en un área de tierra muy pequeña. La información se obtiene de instituciones especializadas en cartografía y/o a través de mediciones realizadas en el terreno, además de complementarla con procedimientos matemáticos básicos.

La topografía es fundamental en el desarrollo del pensamiento lógico, el aprendizaje de la importancia de la medición relativa, la percepción de las proporciones y la adquisición de hábitos de revisión en cálculos numéricos y mediciones (Sanchez, 2017).

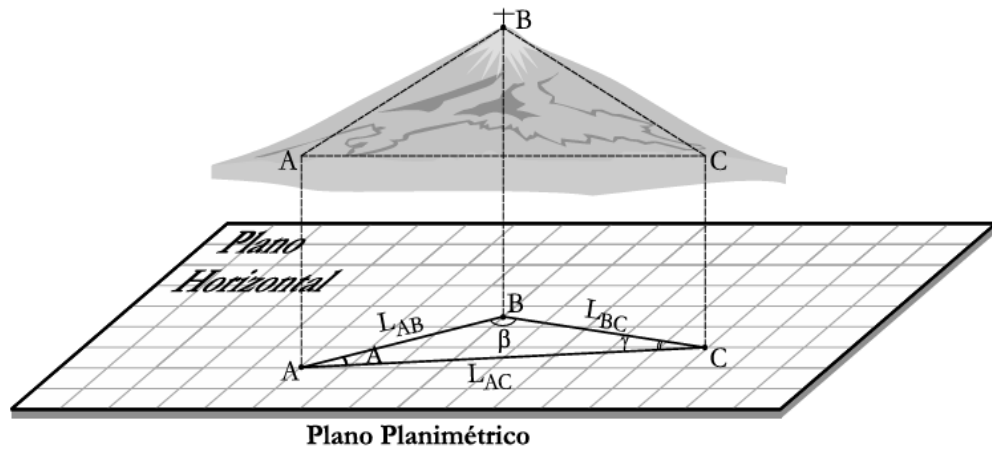
Según Mendoza (2020) la topografía está dividida en tres partes:

- Planimetría: La representación gráfica de una porción de tierra no considera los desniveles ni las alturas que pueda tener el terreno en cuestión.

Es fundamental proyectar horizontalmente todas las longitudes inclinadas necesarias para determinar el plano.

Figura 1

Planimetría

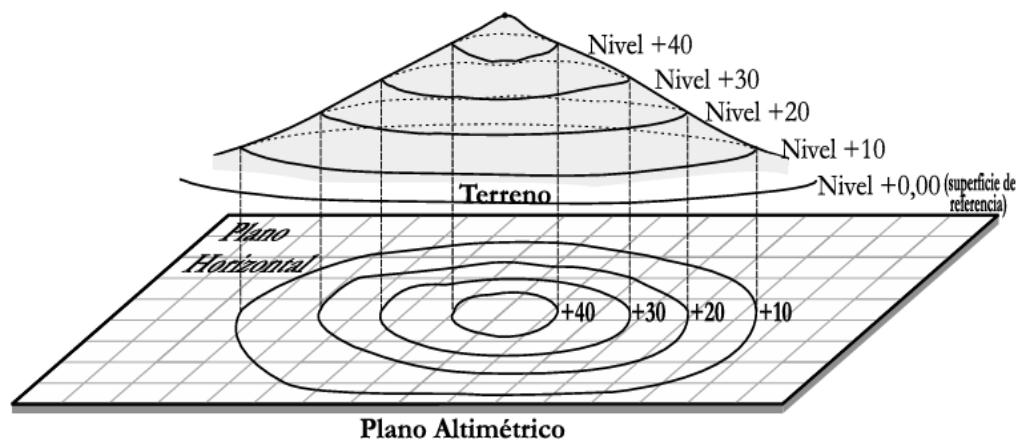


Nota: Esta figura muestra la representación del plano altimétrico (Mendoza, 2019).

- Altimetría: La cartografía topográfica se encarga de representar de manera gráfica las distintas altitudes de los puntos en la superficie terrestre con respecto a una superficie de referencia.

Figura 2

Altimetría.

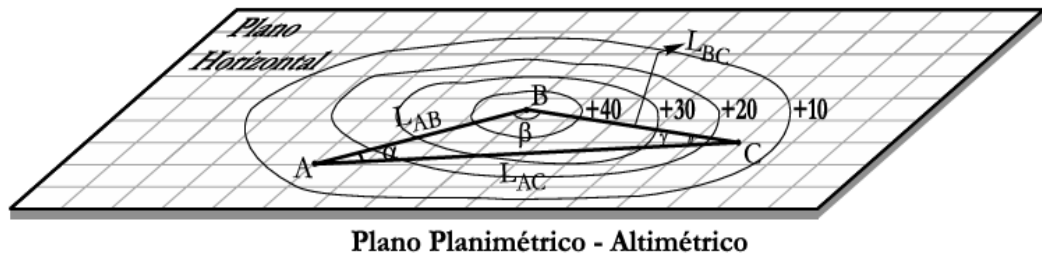


Nota: Esta figura muestra la representación del plano altimétrico (Mendoza, 2019).

- Topografía integral: La representación gráfica de los distintos puntos en la superficie terrestre se realiza teniendo en cuenta tanto su ubicación horizontal como su elevación.

Figura 3

Topografía integral.



Nota: Esta figura muestra la representación del plano planimétrico y altimétrico (Mendoza, 2019).

2.2.1.1 Puntos topográficos

El punto de control, también conocido como punto topográfico, es el punto de referencia utilizado para llevar a cabo mediciones lineales y/o angulares. En algunas situaciones, estos puntos se utilizan como referencia para determinar la orientación de un alineamiento. Los puntos topográficos se clasifican en dos categorías:

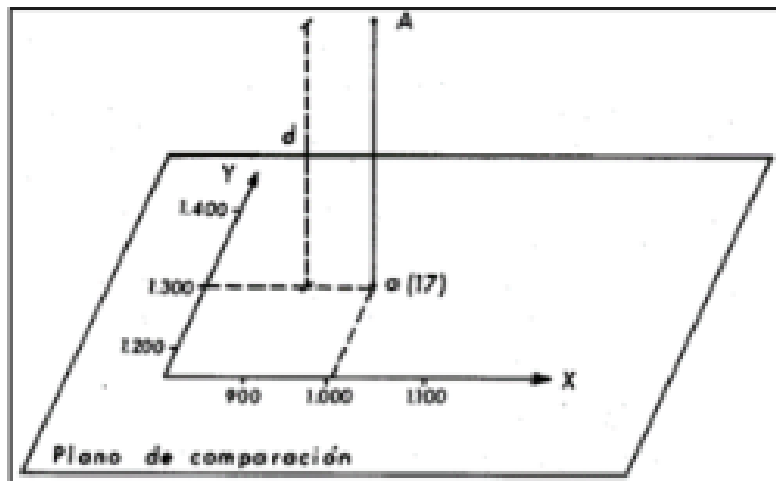
- Puntos permanentes: son puntos de referencia permanentes, como faros, monumentos, antenas y mojones, se establecen previamente y de forma independiente al proceso de levantamiento topográfico.
- Puntos temporales: son puntos que están diseñados específicamente para llevar a cabo un proyecto y, por lo general, deben eliminarse una vez finalizado el levantamiento. Se sugiere marcar estos puntos con estacas de madera o hierro, las cuales deben ser pintadas para facilitar su ubicación. Además, es importante que estén vinculados a una estructura cercana.

2.2.2 Sistemas de representación topográfica

Para llevar a cabo el trazado de una porción de terreno en un plano, es necesario emplear los sistemas de representación analizados en el campo de la geometría descriptiva. Dentro de estos sistemas, se destaca aquel que no causa distorsiones métricas en la proyección dentro de un sistema delimitado (Lopez, 1996).

Figura 4

Plano cartesiano.



Nota: Esta figura muestra el plano cartesiano de punto proyectado (Lopez, 1996).

2.2.3 Levantamiento topográfico

Es un conjunto de operaciones necesarias para determinar geoméricamente el relieve, una superficie que consta del levantamiento altimétrico y planimétrico. El levantamiento topográfico es el proceso mediante el cual se recopilan datos precisos del terreno y se representan en un plano topográfico que contiene curvas de nivel y detalles de puntos en la superficie (Pedraza, 2019).



2.2.3.1 Etapas de levantamiento topográfico

De acuerdo con Mendoza (2019), el proceso de levantamiento topográfico puede ser segmentado en diversas fases. No obstante, el autor propone una división en tres etapas:

- a) Reconocimiento de terreno y plan de trabajo: Durante esta fase, se lleva a cabo una investigación exhaustiva, donde se razona y se deduce el método más adecuado para realizar de manera óptima el trabajo de campo. Es fundamental llevar a cabo una inspección en el sitio, recopilar información técnica detallada de los residentes locales y consultar los planos de referencia disponibles para obtener datos relevantes.
- b) Trabajo de campo: La actividad implica llevar a cabo las mediciones requeridas en el mismo lugar, siguiendo el plan y la estrategia establecidos durante la inspección del terreno. Para lograrlo, se deben medir distancias, ángulos horizontales y verticales, así como la diferencia de alturas entre los puntos. Es fundamental llevar a cabo las tareas de forma organizada con el fin de facilitar las labores en el gabinete. Durante esta fase, resulta fundamental emplear la libreta de campo para registrar la información recopilada.
- c) Trabajo de gabinete: La elaboración de planos requiere la realización de diversos cálculos matemáticos. Es importante recomendar que la persona responsable de las anotaciones en la libreta de campo participe en el trabajo de gabinete. De esta manera, se facilitará la



resolución de cualquier duda que pueda surgir en el proceso. La eficiencia de un levantamiento topográfico se ve significativamente influenciada por la forma en que se lleva a cabo el reconocimiento del terreno y la planificación del trabajo. En conclusión, estos aspectos son fundamentales para el éxito de la operación.

2.2.4 La geodesia

Dueñas (2020) describe la geodesia como la disciplina científica dedicada al análisis de la forma y dimensiones de la superficie terrestre, abarcando también el campo gravitatorio externo de la Tierra y la superficie del fondo oceánico, junto con sus variaciones temporales. Los hallazgos de la geodesia son fundamentales para la geomática y tienen aplicaciones en misiones militares y programas espaciales.

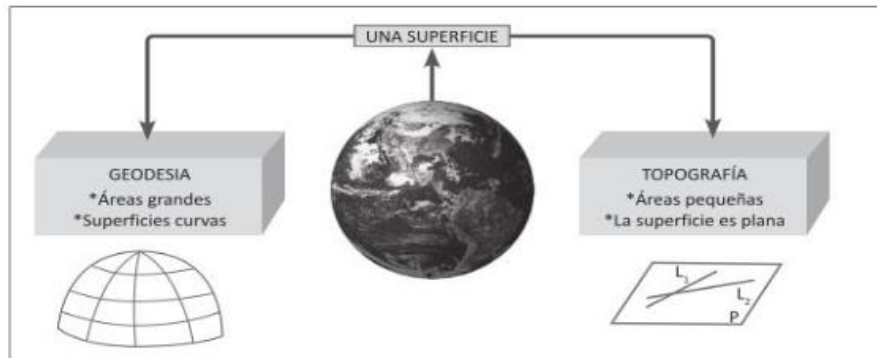
La geodesia es la disciplina científica que estudia la forma y dimensiones de la tierra, su objetivo es determinar y representar la figura de la tierra, tanto a nivel global como parcial. Esto incluye el levantamiento y la representación de la superficie terrestre, considerando tanto sus formas naturales y artificiales

Analiza la superficie terrestre. En proyectos de gran envergadura, como la construcción de carreteras, represas y trabajos de catastro, es necesario tener en cuenta la curvatura terrestre. En el campo de la geodesia, la medición de la Tierra se basa en la consideración de su curvatura. Esta disciplina ha dado lugar a la creación de la triangulación, métodos de cálculo basados en mínimos cuadrados para la reducción de errores. Tanto los equipos utilizados en el terreno como los

cálculos realizados tienen como finalidad principal la obtención de una representación más precisa de la red geodésica (Villalba, 2016).

Figura 5

Diferencia entre geodesia y cartografía.



Nota: En esta figura se muestra la diferencia entre geodesia y cartografía (Villalba, 2016).

2.2.4.1 Levantamientos geodésicos

Es el conjunto de procedimientos y operaciones de campo y gabinete destinados a determinar las coordenadas geodésicas de puntos sobre el terreno convenientemente elegidos y demarcados. Con respecto al Sistema de Referencia (INEGI, 2015).

2.2.5 Geoide

El geoide se puede definir como la forma de equilibrio de las masas oceánicas que solo están sujetas a la acción de la gravedad. Su definición se abordará en los capítulos de geodésica desde una perspectiva de mecánica racional. No obstante, en el contexto en el cual se lleva a cabo la actividad topográfica, se pueden considerar válidas las suposiciones de reemplazar el geoide con superficies algebraicas simples, lo que posibilita una definición geométrica del mismo (Lopez, 1996).

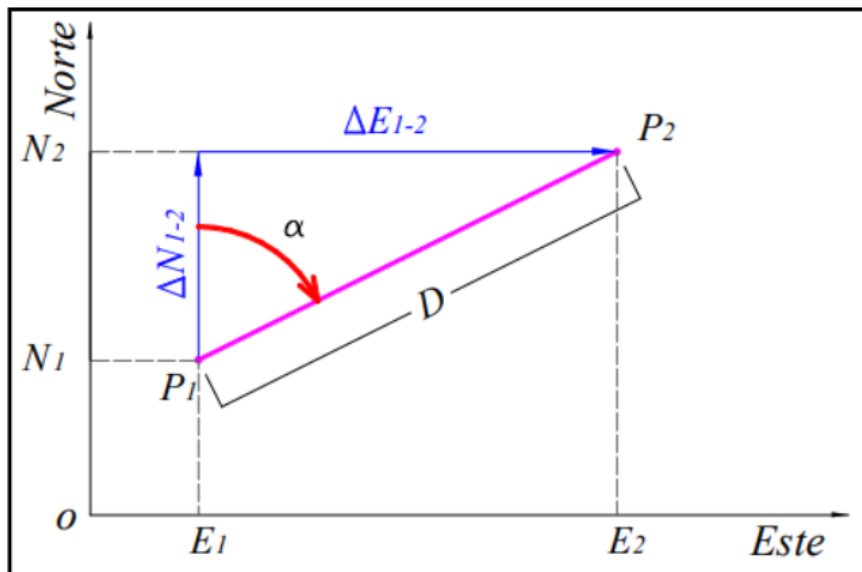
En consecuencia, se refiere a un plano horizontal en el cual los puntos son perpendiculares a la dirección de la gravedad. Este plano presenta la característica notable de que el plano tangente en cualquier punto de éste es ortogonal a la dirección de la gravedad.

2.2.6 Desplazamiento

El desplazamiento es la variación en la ubicación de un objeto a lo largo de una trayectoria rectilínea. Este fenómeno se caracteriza por poseer una dirección precisa alineada con dicha trayectoria, así como un sentido definido por las posiciones inicial y final del objeto. El movimiento de un objeto, que invariablemente inicia en un punto de origen y finaliza en un punto de destino, se caracteriza por una distancia que se determina como la diferencia entre estas ubicaciones, lo que representa la trayectoria completa del objeto

Figura 6

Desplazamiento de coordenadas.



Nota: Esta figura muestra la distancia de dos puntos (Petrucci & Cruz, 2014).



2.2.7 Modelo digital de elevaciones

El Modelo Digital de Elevación (DEM) constituye una representación numérica del relieve, revistiendo relevancia en los campos de las ciencias geológicas y las aplicaciones relacionadas con el ciclo del agua. El Modelo Digital de Elevación (DEM) puede ser creado a través de diversas técnicas como la fotogrametría, la interferometría, la topografía terrestre, el láser, entre otras.

Los modelos digitales de terreno (MDT) son una categoría de modelos simbólicos creados por nuevas tecnologías. Se definen como un conjunto de datos numéricos que describe la distribución espacial de una característica del territorio. Para crear modelos digitales, es necesario llevar a cabo un proceso de codificación de datos que permita una representación virtual en forma de cifras. Varios tipos de estructuras numéricas (vectores, matrices, conjuntos, etc.) o expresiones matemáticas que expresan relaciones topológicas y funcionales se utilizan para representar las relaciones espaciales o las características deseadas. (Felicísimo, 1994)

2.2.7.1 Tipos de modelo digital de elevaciones

Modelo digital de terreno

El modelo digital de terreno es una representación tridimensional de la superficie terrestre que se obtiene a través de la captura, preprocesamiento y análisis de datos de elevación, utilizando tecnologías avanzadas como LiDAR y RADAR. Este modelo es crucial para entender y analizar procesos atmosféricos, geomorfológicos, hidrológicos y



ecológicos que ocurren sobre la superficie terrestre. A lo largo de los últimos 25 años, las técnicas y fuentes de datos para generar DEM han evolucionado significativamente, permitiendo una mayor precisión en la extracción de parámetros primarios y secundarios de la superficie, tales como la pendiente y el aspecto, que son esenciales para aplicaciones como la modelación de la radiación solar y el flujo de agua. Además, la geomorfometría, que es la ciencia detrás del modelado digital del terreno, ha crecido en complejidad, enfrentando desafíos relacionados con la eliminación de errores y la precisión de los análisis, lo que subraya la importancia de un enfoque cuidadoso en la creación y utilización de DEM para diversas aplicaciones científicas y prácticas.

Modelo digital de superficie

Los Modelos Digitales de Superficie (MDS) constituyen una representación precisa de las variaciones de elevación de objetos y superficies capturadas durante la adquisición de datos, ya sea mediante instrumentos fotogramétricos, Lidar (Light Detection and Ranging) o radar. La estructura de representación de datos puede ser regular o irregular. La principal distinción entre los Modelos Digitales de Terreno (MDT) y los Modelos Digitales de Superficie (MDS) radica en que los MDT únicamente reflejan los valores de elevación de los puntos más bajos de una superficie, mientras que los MDS representan la elevación de la capa superficial de los objetos sobre dicha superficie. Los dispositivos de tecnología móvil (MDT) pueden surgir como resultado de un proceso del

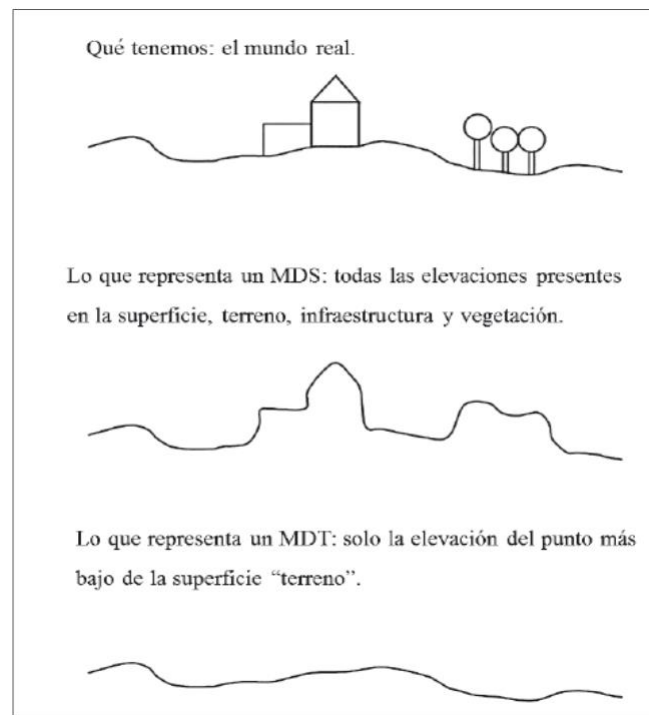


desarrollo de software móvil (MDS). El concepto de Modelo de Elevación Digital (MDE) se refiere a una característica de elevación dentro de un modelo digital que posee una proyección específica y una estructura regular de representación de datos (Figura 26). Los términos MDT y MDE suelen generar confusión, ya que son utilizados como sinónimos por muchas personas (Fuentes, 2012).

El modelo digital de superficie (DSM, por sus siglas en inglés) es una representación tridimensional que captura la elevación de todos los objetos presentes sobre la superficie terrestre, como edificios, árboles y otras estructuras. A diferencia del modelo digital de terreno (DEM), que solo representa la superficie del suelo, el DSM incluye todas las elevaciones, lo que lo hace especialmente útil en aplicaciones de teledetección, como la detección de edificios. Aunque tradicionalmente la detección de edificios ha dependido de la fusión de datos DSM con imágenes aéreas para mejorar la precisión, recientes avances han demostrado que los DSM por sí solos pueden ser suficientes para esta tarea. A través de técnicas específicas, como la reconstrucción de la superficie del suelo y la eliminación de elementos no deseados mediante métodos morfológicos, es posible extraer y detectar con precisión estructuras construidas, lo que subraya el valor de los DSM en el análisis y procesamiento de imágenes de teledetección.

Figura 7

MDS y MDT.



Nota: Esta figura muestra la diferencia entre MDS y un MDT (Linder, 2006).

2.2.8 Georreferenciación

La Georreferenciación es el procedimiento mediante el cual se asigna la ubicación espacial adecuada a un trabajo, es decir, se sitúa en la posición geográfica real que le corresponde en el globo terrestre. Mediante el empleo de los Sistemas de Posicionamiento Global por Satélite (GNSS), es factible determinar la posición, orientación y escala tanto del modelo como de cada punto presente en la nube de puntos.

Para establecer la georreferenciación, se requiere la vinculación de las coordenadas de la red de densificación MAGNA-SIRGAS. Para establecer los puntos marcados con precisión, es necesario emplear dispositivos GNSS (Sistema



Global de Navegación por Satélite) que operen en las frecuencias L1 o L1/L2, y aplicar técnicas diferenciales estáticas (Cruz & Ramos, 2019).

2.2.9 Fotogrametría

La fotogrametría es una disciplina científica y técnica que se centra en la determinación de las dimensiones y la ubicación de objetos en el espacio. Esto se logra mediante la medición derivada de la intersección de dos o más fotografías, o entre una fotografía y un modelo digital del terreno generado previamente a partir de múltiples fotografías. El término "fotogrametría" tiene su origen etimológico en la palabra "fotograma", derivada del griego "phos" que significa luz, y "gramma" que se refiere a trazado, junto con el elemento "metrón" que denota medir (Casaperalta, 2021).

La fotogrametría se puede definir como el conjunto de conocimientos, habilidades y técnicas utilizadas para adquirir datos precisos a partir de imágenes fotográficas. La fotogrametría se puede clasificar en dos áreas distintas: la métrica y la interpretativa. La métrica es un tema de gran relevancia para los topógrafos, quienes son ingenieros especializados en geomática. Esta disciplina se utiliza para calcular datos espaciales como distancias, elevaciones, áreas, volúmenes y secciones transversales. Además, se emplea en la recopilación de información para la elaboración de mapas topográficos, los cuales se basan en mediciones realizadas a partir de fotografías. En esta aplicación, se emplea principalmente la fotografía aérea, la cual se realiza a bordo de vehículos aeronáuticos. Sin embargo, en situaciones especiales, también se utiliza la fotografía terrestre, la cual se lleva a cabo mediante cámaras ubicadas en tierra (Wolf & Ghilani, 2016).



2.2.9.1 Clasificación de la fotogrametría

La fotogrametría puede clasificarse según los criterios siguientes:

- En función del instrumento utilizado
- En función de la distancia al objeto

2.2.9.2 Planificación de vuelo

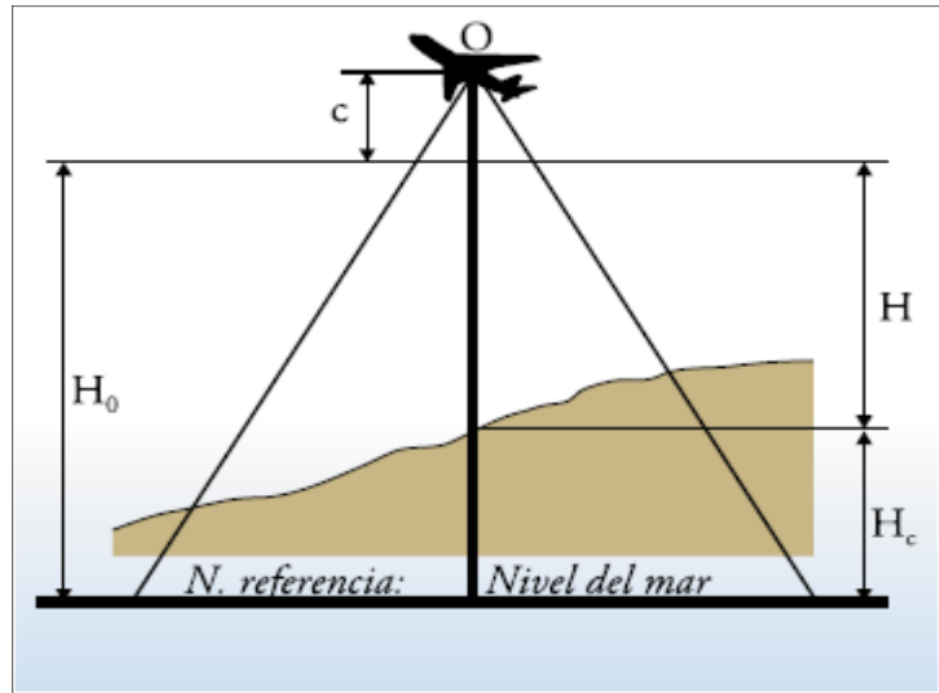
En la planificación de vuelo es necesario garantizar que cada parte del terreno, por más pequeña que sea, sea cubierta estereoscópicamente. Esto implica que es necesario que la totalidad de la superficie aparezca en las zonas de superposición de las fotografías adyacentes de un recorrido, así como en las áreas superpuestas de recorridos vecinos (Quirós, 2014).

- Altura de vuelo

La relación entre la altitud de vuelo de un Vehículo Aéreo No Tripulado (VANT) y el tiempo de vuelo, así como la resolución espacial de la imagen (GSD), es un factor crucial en la planificación de la misión aérea. Esta relación es inversamente proporcional. A medida que la altitud de vuelo aumenta, tanto la calidad como la duración del vuelo disminuirán. Por el contrario, si la altitud de vuelo es menor, la calidad sería mejor y la duración del vuelo sería mayor. El ajuste de este factor dependerá de la duración de la batería, la superficie a cubrir y la calidad del trabajo deseada (Davalos, s.f.).

Figura 8

Altura de vuelo



Nota: Esta imagen muestra la altura del vuelo sobre el nivel del mar. Fuente: (Quirós Rosado, 2014)

- Traslape

El algoritmo empleado en los programas informáticos para el procesamiento inicial de las fotografías capturadas por el Vehículo Aéreo No Tripulado (VANT) se encarga de llevar a cabo la identificación de los puntos en común entre las distintas imágenes. Para que el software pueda llevar a cabo esta tarea, se requiere la presencia de puntos característicos comunes entre las fotografías. Estos puntos son correlacionados y triangulados para identificar la posición de los miles o cientos de miles de puntos que componen la nube de puntos, permitiendo así la reconstrucción del modelo 3D (Davalos, s.f.).

Figura 9

Reconstrucción del modelo.



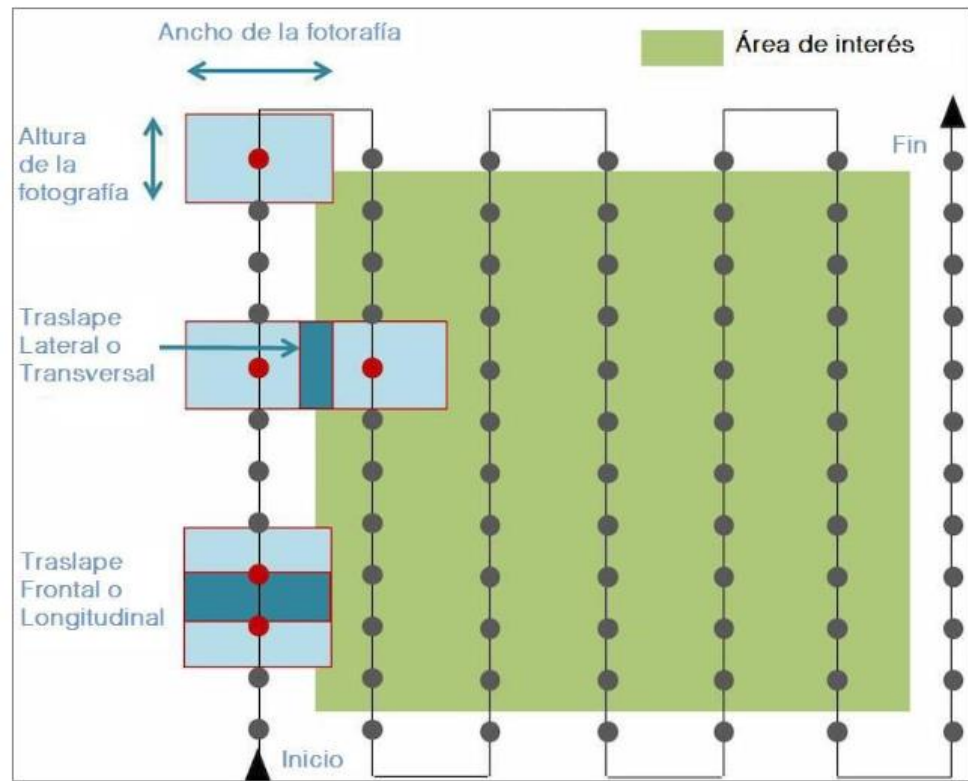
Nota: Esta figura representa todo el procedimiento hasta la obtención del orto mosaico.

Fuente: (Davalos, s.f.)

La correlación y emparejamiento de imágenes requiere una superposición frontal y lateral, conocidas como "Traslape Longitudinal" y "Traslape Transversal". Sin esta condición, dicho proceso no sería factible. Las fotografías se superponen unas sobre otras en un porcentaje específico. Para lograr una reconstrucción más precisa del modelo 3D, es recomendable considerar porcentajes de traslape mayores en terrenos ondulados o abruptos en comparación con terrenos llanos (Davalos, s.f.).

Figura 10

Formas de traslape.



Nota: La figura muestra la representación del traslape de las fotografías.

2.2.9.3 Puntos de control terrestre

El objetivo principal consiste en georreferenciar medidas topográficas con el fin de alcanzar la precisión requerida. La asignación de puntos de control puede ser tanto natural como artificial (Davalos, s.f.).

2.2.9.4 Ortomosaico

El término "ortomosaicos" se utiliza para describir el resultado de la elaboración de imágenes capturadas por drones en el contexto de la fotogrametría aérea con drones. El ortomosaico se obtiene al unir áreas de cada imagen en las cuales la distorsión causada por la distancia al eje focal de la cámara es mínima. Se trata de un mosaico que representa la región,



en el cual el plano horizontal de cada fotografía es perpendicular al eje focal, de ahí su denominación como mosaico ortográfico (Davalos, s.f.).

2.2.10 GSD

La distancia de muestreo del suelo (GSD) se define como la distancia que separa el centro de dos píxeles adyacentes en el suelo. Esta medida se ve influenciada por la altitud de vuelo y las características técnicas de la cámara utilizada. Una menor altura con la misma cámara implica una reducción en la distancia de muestreo del suelo y la obtención de resultados más precisos (Pix4D, 2021).

La resolución espacial se define como la distancia entre el centro de dos píxeles adyacentes en una imagen tomada desde el suelo. Un tamaño de píxel de 3 centímetros implica que cada píxel en la imagen corresponde a una longitud de 3 centímetros en el suelo. Un solo píxel puede ocupar una superficie de nueve centímetros cuadrados, equivalente a tres por tres centímetros. Los proyectos con un alto grado de segmentación digital mostrarán detalles menos obvios. El proyecto corre el riesgo de perder calidad visual si se capturan imágenes desde una altura excesiva o con una cámara de baja resolución.

2.2.11 Dron eBee X

El dron eBee RTK, desarrollado por senseFly, es un dispositivo de mapeo de alta precisión diseñado para generar modelos digitales de elevación (DEM) y ortomosaicos sin la necesidad de puntos de control en tierra (GCPs). Equipado con una antena GNSS capaz de recibir correcciones en tiempo real (RTK), este



dron corrige las etiquetas geográficas de las imágenes durante el vuelo, lo que permite una precisión horizontal de hasta 3 cm y una precisión vertical de 5 cm. Además, el eBee RTK utiliza el software de planificación de vuelo eMotion y el software de postprocesamiento Postflight Terra 3D, lo que facilita la creación de nubes de puntos, DSMs y ortomosaicos con alta exactitud espacial. Este dron es ideal para levantamientos topográficos, especialmente en condiciones donde el tiempo en campo es limitado o el uso de GCPs es impráctico, y puede operar de manera eficiente incluso en condiciones adversas de luz y viento.

2.2.12 Modos de vuelo eBee X

Según el Ebee X User manual puede operarse en dos modos de vuelo principales:

- **Vuelo autónomo:**

Controlado por Software: Utiliza el software eMotion para planificar y ejecutar vuelos de manera autónoma, siguiendo rutas predefinidas.

Planificación de Misión: Permite definir rutas de vuelo, puntos de referencia, y parámetros de vuelo como altitud y velocidad antes del despegue.

Captura de Datos: Durante el vuelo, el dron captura automáticamente datos según las configuraciones preestablecidas, como imágenes georreferenciadas.

Aterrizaje Automático: Una vez completada la misión, el dron regresa y aterriza automáticamente en el punto designado.

- **Vuelo manual:**



Control Directo: El operador puede tomar el control total del dron en cualquier momento, lo que permite realizar ajustes en tiempo real.

Flexibilidad en Situaciones Críticas: Este modo es útil para maniobrar el dron en situaciones inesperadas o para evitar obstáculos durante el vuelo.

2.2.13 Adquisición de datos

- **Sensores y Cámaras Compatibles:** El eBee X es compatible con una variedad de cámaras y sensores, lo que permite la captura de imágenes RGB, multiespectrales, térmicas, entre otras.
- **Georreferenciación:** Utiliza correcciones RTK/PPK para asegurar que los datos capturados estén georreferenciados con alta precisión, eliminando la necesidad de puntos de control en tierra.
- **Post-Procesamiento:** Los datos capturados se procesan utilizando software especializado, como Postflight Terra 3D, para generar productos como ortomosaicos y modelos digitales de superficie (DSM).

2.2.14 Software de planeamiento de vuelo en eMotion 3

eMotion 3 es un software de planificación de vuelo y control desarrollado por senseFly para gestionar misiones de drones de forma eficiente y segura. Este software permite a los usuarios planificar, supervisar y ejecutar vuelos automáticos, facilitando la captura de datos geoespaciales precisos. eMotion 3 soporta una amplia gama de drones y sensores, ofreciendo herramientas avanzadas para la creación de mapas, monitoreo de terrenos, y aplicaciones en agricultura, topografía, y más.

2.2.14.1 Proceso de Planeamiento de Vuelo en eMotion 3

- Creación de Misiones:

Los usuarios pueden crear y guardar misiones personalizadas seleccionando el tipo de misión (como mapeo horizontal, mapeo de corredores, o rutas personalizadas).

La planificación comienza seleccionando la ubicación de despegue y aterrizaje, y estableciendo los waypoints (puntos de referencia) a lo largo de la ruta de vuelo deseada.

Configuración de Parámetros durante la planificación, se pueden ajustar parámetros clave como la altitud de vuelo, velocidad, superposición de imágenes, y orientación del dron.

- Selección de Cámaras y Sensores:

eMotion 3 permite seleccionar la cámara o sensor adecuado para la misión. Los ajustes de la cámara, como la resolución y el intervalo de captura, se pueden configurar directamente en el software.

Esta selección es crítica para garantizar que los datos capturados sean adecuados para el análisis que se desea realizar posteriormente.

- Uso de Mapas y Modelos de Elevación:

El software permite la integración de datos de elevación y mapas personalizados, lo que es esencial para planificar rutas de vuelo que eviten obstáculos y mantengan la altitud adecuada sobre el terreno.



Los usuarios pueden cargar sus propios modelos de elevación o utilizar los proporcionados por el software para una planificación más precisa.

- Simulación de Vuelo:

Antes de ejecutar la misión real, eMotion 3 ofrece una función de simulación que permite verificar la ruta de vuelo, asegurando que todos los parámetros estén correctamente configurados y que el vuelo sea seguro y eficiente.

Esta simulación es útil para identificar posibles problemas y realizar ajustes antes del despegue.

- Monitoreo en Tiempo Real:

Durante el vuelo, eMotion 3 permite a los usuarios monitorear el progreso de la misión en tiempo real, mostrando la posición del dron, la altitud, la velocidad, y el estado de la batería.

El software también ofrece alertas y opciones de seguridad, como la capacidad de regresar a casa automáticamente si se pierde la señal o si hay una emergencia.

- Post-Procesamiento y Almacenamiento de Datos:

Tras completar la misión, los datos capturados (imágenes, videos, datos de vuelo) se pueden almacenar y gestionar dentro del software.



eMotion 3 facilita la integración con plataformas de procesamiento como Pix4D para crear productos finales como ortomosaicos, modelos 3D, y análisis detallados.

2.2.15 Software Pix4D

En el año 2011 se creó este software con el propósito principal de generar modelos y mapas digitales georreferenciados en 2D y 3D de gran precisión a partir de fotografías tomadas por drones (Pix4D, 2021).

2.2.16 Software Arcgis Pro

ArcGIS Pro, desarrollado por Esri, es una completa aplicación SIG de escritorio diseñada para uso profesional. ArcGIS Pro permite a los usuarios explorar, visualizar y analizar datos, así como generar mapas 2D y escenas 3D. Además, permite compartir el trabajo con ArcGIS Online o el portal ArcGIS Enterprise del usuario (ESRI,2024).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 ZONA DE APLICACIÓN

3.1.1 Ubicación política

El proyecto de investigación se realizó en el distrito de Sama, ubicado en la provincia de Tacna, dentro del departamento de Tacna, Perú. Esta área ha sido seleccionada debido a sus características topográficas, las cuales son ideales para llevar a cabo estudios de precisión georreferenciada utilizando tecnologías avanzadas de RPAS.

- Departamento : Tacna
- Provincia : Tacna
- Distrito : Sama

Figura 11

Ubicación política



Nota: En la figura se muestra la ubicación (Elaboración Propia, 2024).

3.1.2 Ubicación geográfica en coordenadas UTM

Tabla 1

Ubicación geográfica WGS 84 del área de estudio

Este	Norte	Altura	Zona
336584	8024934	430m.s.n.m.	19 S

Nota. Esta tabla presenta las ubicaciones geográficas del área de estudio.

Figura 12

Ubicación geográfica.



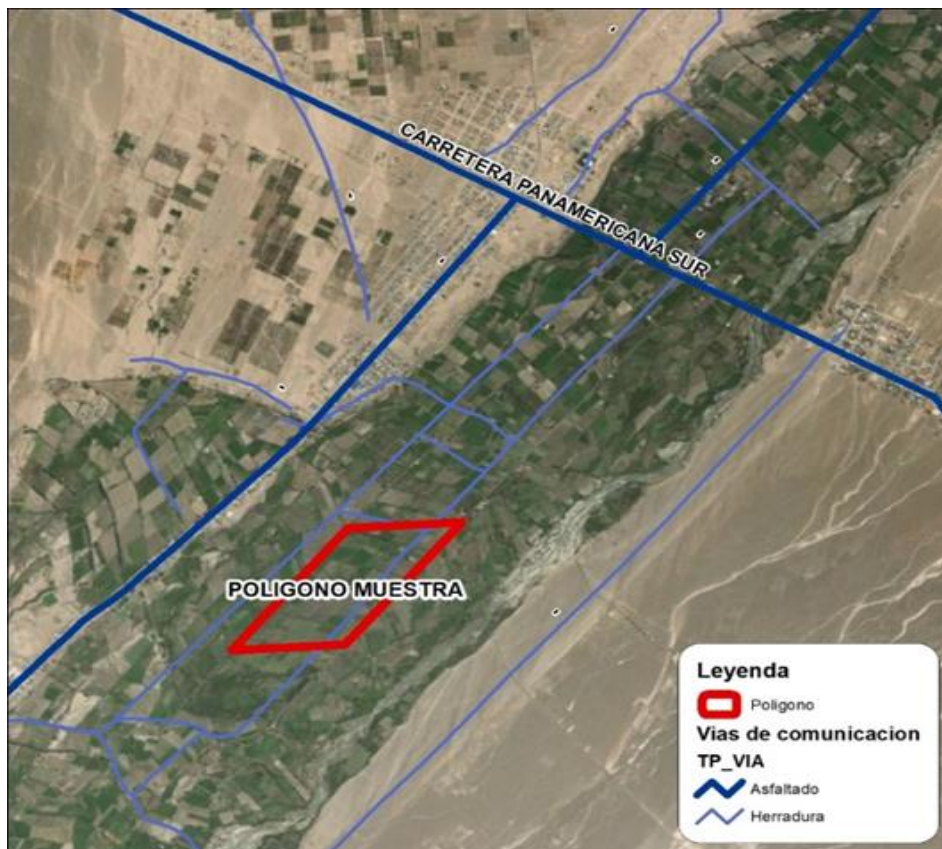
Nota: Esta figura muestra la ubicación geográfica (Elaboración propia, 2024).

3.1.3 Ruta de acceso

El terreno delimitado cuenta con acceso mediante una vía de herradura, la cual se extiende aproximadamente 2.5 kilómetros valle abajo desde la carretera Panamericana Sur.

Figura 13

Ruta de acceso



Nota: La figura muestra la accesibilidad al área de estudio (Elaboración propia, 2024).

3.2 MATERIALES Y EQUIPOS

3.2.1 Materiales de escritorio

- Notebook Lenovo ThinkPad E16 Core i7 8th Gen vPro, 16 GB RAM 3200 MHz, 5152 GB almacenamiento



- Computadora de escritorio Core I5 12400F, 16 GB RAM 3600 MHz, 512 GB almacenamiento, RTX 3060 12GB.

3.2.2 Equipos requeridos

- Dron eBee X
- Cámara S.O.D.A. 3D
- Sistema GNSS Trimble R12
- Dron eBee X , con maleta rígida de transporte
- Cámara S.O.D.A. 3D
- Memoria SD SanDisk Extreme Pro 32 GB
- Camioneta Pickup Ford Ranger 2020

3.2.3 Softwares

- ArcGis Pro
- Plix4D Mapper
- Microsoft office
- IBM SPSS Statistic

3.3 METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

3.3.1 Enfoque de investigación

El enfoque de la investigación es cuantitativo, ya que se centra en la medición y análisis numérico de los datos obtenidos a través del vuelo del RPAS



eBee X PPK sin influencia de los puntos de fotocontrol en la precisión georreferenciada del ortomosaico. Este enfoque permitirá determinar con precisión las diferencias y la exactitud de los resultados obtenidos.

3.3.2 Tipo de investigación

Muestran la evolución natural de los eventos sin la intervención del investigador (Supo, 2012).

Según la planificación de la toma de datos, es retrospectivo ya que los datos se obtienen de registros donde el investigador no participó, no podemos garantizar la precisión de las mediciones (Supo, 2012).

Según el número de ocasiones en que mide la variable de estudio, es transversal ya que todas las variables se han medido una vez, por lo que son muestras independientes para comparar (Supo, 2012).

Según el número de variables de interés el análisis es analítico ya que establece la relación entre factores a través de la formulación y prueba de hipótesis, como resultado, al menos es bivariado (Supo, 2012).

3.3.3 Nivel de investigación

El nivel de esta investigación es descriptivo comparativo, puesto que recopila información relevante sobre un mismo fenómeno o aspecto de interés en muestras y luego caracterizar el fenómeno mediante la comparación de los datos, que puede hacerse en los datos generales o en una categoría de ellos.



3.3.4 Estadística de prueba

Se utilizará la prueba T de Student para analizar los datos y determinar la significancia estadística de los resultados obtenidos.

3.3.5 Error de muestra y nivel de confianza

Se lleva a cabo a un nivel de confianza del 95%, lo que significa que el nivel de significación es igual a 0.05, lo que representa el límite de la región de aceptación o rechazo de la prueba.

3.3.6 Población

La población de este estudio está constituida por todos los ortomosaicos y DSM generados mediante vuelos de RPAS eBee X PPK en una determinada área de estudio bajo diferentes condiciones de procesamiento.

3.3.7 Muestra

La muestra de esta investigación está conformada por todos los puntos geográficos dentro del área de estudio. En relación al primer objetivo específico, se seleccionaron y analizaron 6 puntos, mientras que para el segundo objetivo específico, se ampliaron las mediciones a 149 puntos, permitiendo un análisis más exhaustivo y detallado.

3.4 PROCEDIMIENTO PARA EL PRIMER OBJETIVO

3.4.1 Recolección de datos registrados método directo

3.4.1.1 Recolección de Datos GNSS:

- Uso del receptor Trimble R12 en modo estático sobre un monumento con placa de bronce (código TAC01083).
- Lecturas del receptor móvil Trimble R12 sobre las marcas de PFC en el terreno muestra.

Figura 14

Datos de recolección para punto pc01

Componentes de vector (Marca a marca)

De: tac01083					
	Cuadrícula		Local		Global
Este	337717.568 m	Latitud	S17°51'24.92831"	Latitud	S17°51'24.92831"
Norte	8024978.443 m	Longitud	W70°31'53.66449"	Longitud	W70°31'53.66449"
Elevación	391.819 m	Altura	423.992 m	Altura	423.992 m

Hasta: pc01					
	Cuadrícula		Local		Global
Este	337229.851 m	Latitud	S17°51'13.04635"	Latitud	S17°51'13.04635"
Norte	8025339.724 m	Longitud	W70°32'10.12977"	Longitud	W70°32'10.12977"
Elevación	374.743 m	Altura	406.914 m	Altura	406.914 m

Vector					
ΔEste	-487.7170 m	Acimut Adelante NS	306°59'57.4"	ΔX	-425.1784 m
ΔNorte	361.2814 m	Dist. elip	606.9977 m	ΔY	-251.8442 m
ΔElevación	-17.076 m	ΔAltura	-17.0782 m	ΔZ	352.9643 m

Nota: Esta figura muestra el registro de dato para el punto pc01.

Figura 15

Datos de recolección para punto pc02

Componentes de vector (Marca a marca)

De: tac01083					
Cuadrícula		Local		Global	
Este	337717.568 m	Latitud	S17°51'24.92831"	Latitud	S17°51'24.92831"
Norte	8024978.443 m	Longitud	W70°31'53.66449"	Longitud	W70°31'53.66449"
Elevación	391.819 m	Altura	423.992 m	Altura	423.992 m
Hasta: pc02					
Cuadrícula		Local		Global	
Este	336932.242 m	Latitud	S17°51'24.35232"	Latitud	S17°51'24.35232"
Norte	8024989.696 m	Longitud	W70°32'20.33630"	Longitud	W70°32'20.33630"
Elevación	369.462 m	Altura	401.573 m	Altura	401.573 m
Vector					
ΔEste	-785.3253 m	Acimut Adelante NS	271°17'26.5"	ΔX	-745.7321 m
ΔNorte	11.2532 m	Dist. elip	785.4631 m	ΔY	-246.6884 m
ΔElevación	-22.357 m	ΔAltura	-22.4186 m	ΔZ	23.7306 m

Nota: Esta figura muestra el registro de dato para el punto pc02.

Figura 16

Datos de recolección para punto pc03

Componentes de vector (Marca a marca)

De: tac01083					
Cuadrícula		Local		Global	
Este	337717.568 m	Latitud	S17°51'24.92831"	Latitud	S17°51'24.92831"
Norte	8024978.443 m	Longitud	W70°31'53.66449"	Longitud	W70°31'53.66449"
Elevación	391.819 m	Altura	423.992 m	Altura	423.992 m
Hasta: pc03					
Cuadrícula		Local		Global	
Este	336579.673 m	Latitud	S17°51'37.88403"	Latitud	S17°51'37.88403"
Norte	8024570.783 m	Longitud	W70°32'32.42939"	Longitud	W70°32'32.42939"
Elevación	361.355 m	Altura	393.396 m	Altura	393.396 m
Vector					
ΔEste	-1137.8942 m	Acimut Adelante NS	250°45'33.6"	ΔX	-1126.5504 m
ΔNorte	-407.6598 m	Dist. elip	1208.8012 m	ΔY	-237.6856 m
ΔElevación	-30.464 m	ΔAltura	-30.5963 m	ΔZ	-369.7610 m

Nota: Esta figura muestra el registro de dato para el punto pc03.

Figura 17

Datos de recolección para punto pc04

Componentes de vector (Marca a marca)

De: tac01083					
Cuadrícula		Local		Global	
Este	337717.568 m	Latitud	S17°51'24.92831"	Latitud	S17°51'24.92831"
Norte	8024978.443 m	Longitud	W70°31'53.66449"	Longitud	W70°31'53.66449"
Elevación	391.819 m	Altura	423.992 m	Altura	423.992 m

Hasta: pc04					
Cuadrícula		Local		Global	
Este	335940.763 m	Latitud	S17°51'39.10830"	Latitud	S17°51'39.10830"
Norte	8024527.858 m	Longitud	W70°32'54.14354"	Longitud	W70°32'54.14354"
Elevación	356.462 m	Altura	388.448 m	Altura	388.448 m

Vector					
Δ Este	-1776.8049 m	Acimut Adelante NS	256°14'24.0"	ΔX	-1734.7887 m
Δ Norte	-450.5842 m	Dist. elip	1833.1770 m	ΔY	-435.2745 m
Δ Elevación	-35.357 m	Δ Altura	-35.5436 m	ΔZ	-404.0710 m

Nota: Esta figura muestra el registro de dato para el punto pc04.

Figura 18

Datos de recolección para punto pc05

Componentes de vector (Marca a marca)

De: tac01083					
Cuadrícula		Local		Global	
Este	337717.568 m	Latitud	S17°51'24.92831"	Latitud	S17°51'24.92831"
Norte	8024978.443 m	Longitud	W70°31'53.66449"	Longitud	W70°31'53.66449"
Elevación	391.819 m	Altura	423.992 m	Altura	423.992 m

Hasta: pc05					
Cuadrícula		Local		Global	
Este	336258.829 m	Latitud	S17°51'26.90161"	Latitud	S17°51'26.90161"
Norte	8024905.763 m	Longitud	W70°32'43.23348"	Longitud	W70°32'43.23348"
Elevación	362.468 m	Altura	394.518 m	Altura	394.518 m

Vector					
Δ Este	-1458.7388 m	Acimut Adelante NS	267°37'02.8"	ΔX	-1391.6440 m
Δ Norte	-72.6791 m	Dist. elip	1460.6526 m	ΔY	-442.2702 m
Δ Elevación	-29.351 m	Δ Altura	-29.4738 m	ΔZ	-48.7105 m

Nota: Esta figura muestra el registro de dato para el punto pc05.

Figura 19

Datos de recolección para punto pc06

Componentes de vector (Marca a marca)

De: tac01083					
Cuadrícula		Local		Global	
Este	337717.568 m	Latitud	S17°51'24.92831"	Latitud	S17°51'24.92831"
Norte	8024978.443 m	Longitud	W70°31'53.66449"	Longitud	W70°31'53.66449"
Elevación	391.819 m	Altura	423.992 m	Altura	423.992 m

Hasta: pc06					
Cuadrícula		Local		Global	
Este	336589.289 m	Latitud	S17°51'14.23138"	Latitud	S17°51'14.23138"
Norte	8025298.016 m	Longitud	W70°32'31.89885"	Longitud	W70°32'31.89885"
Elevación	368.862 m	Altura	400.978 m	Altura	400.978 m

Vector					
ΔEste	-1128.2790 m	Acimut Adelante NS	286°17'02.1"	ΔX	-1035.1334 m
ΔNorte	319.5730 m	Dist. elip	1172.7484 m	ΔY	-449.5316 m
ΔElevación	-22.957 m	ΔAltura	-23.0140 m	ΔZ	320.1038 m

Nota: Esta figura muestra el registro de dato para el punto pc06.

3.4.1.2 Resumen de datos

Tabla 2

Resumen de datos

Punto	Este	Norte	Elevación
Pc01	337229.851	8025339.72	374.743
Pc02	336932.242	8024989.7	369.462
Pc03	336579.673	8024570.78	361.355
Pc04	335940.763	8024527.86	356.462
Pc05	336258.829	8024905.76	362.468
Pc06	336589.289	8025298.02	368.862
Tac01083	337717.568	8024978.44	391.819

Nota: Esta tabla muestra el registro datos de los puntos.

3.4.2 Proceso de recolección de datos método indirecto

3.4.2.1 Recopilación de archivos digitales

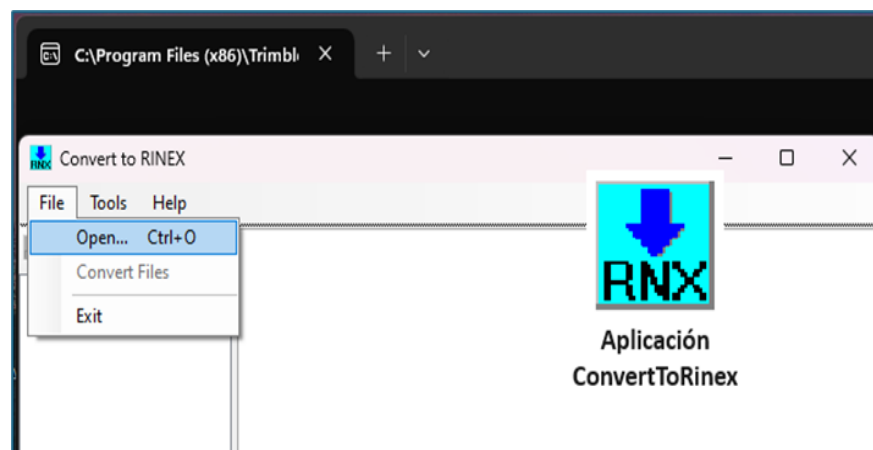
- Registro de Vuelo del Dron (BB3): Archivo en formato BB3 recuperado de la memoria del dron.
- Archivo GNSS Base (T02): Archivo nativo del sistema GNSS base Trimble R12 en formato T02.
- Fotografías Aéreas: Recuperadas de la tarjeta SD de la cámara del dron

3.4.2.2 Conversión de datos GNSS

Software ConvertToRinex:

Figura 20

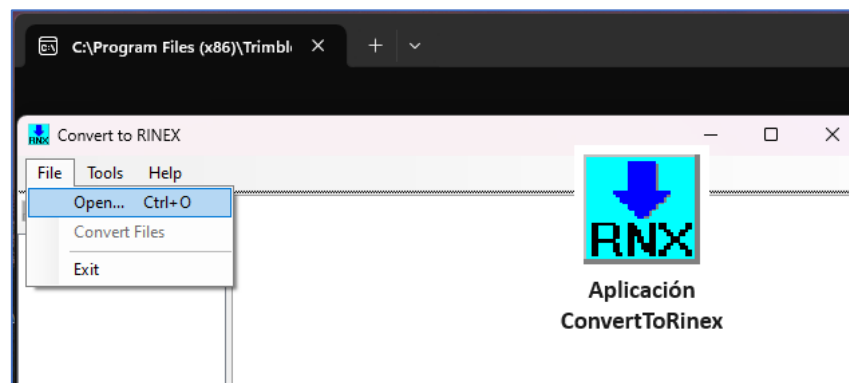
ConvertToRinex



Nota: Vista preliminar del Software.

Figura 21

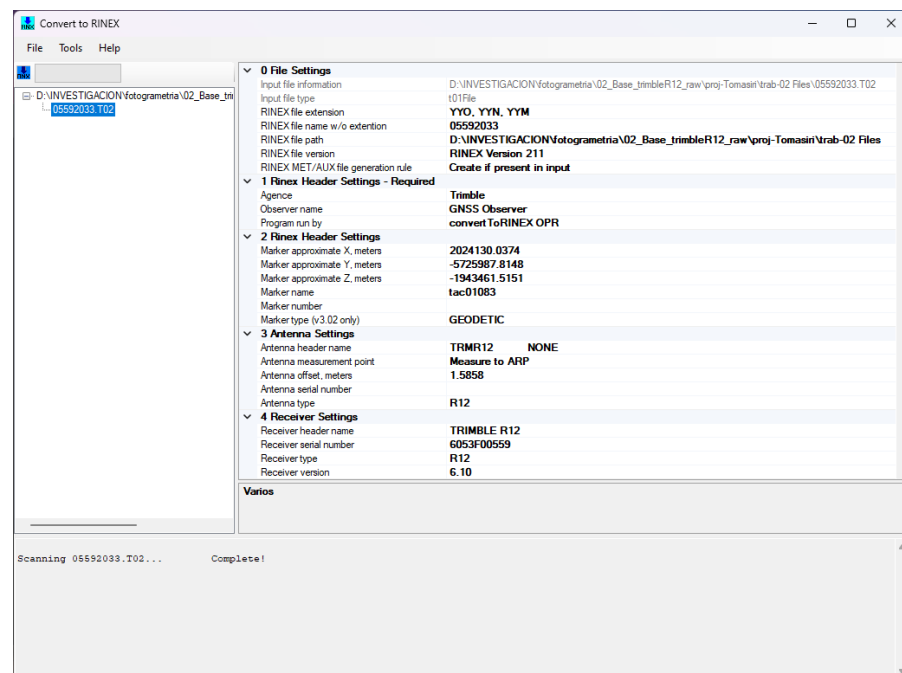
Abrimos el archivo



Nota: Seleccionamos y abrimos el archivo T02.

Figura 22

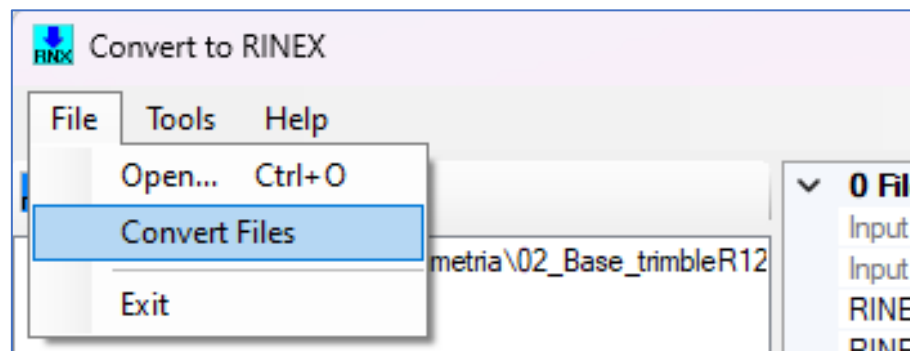
Verificamos los datos en ConvertToRinex



Nota: En esta figura se aprecia la verificación de datos en archivo

Figura 23

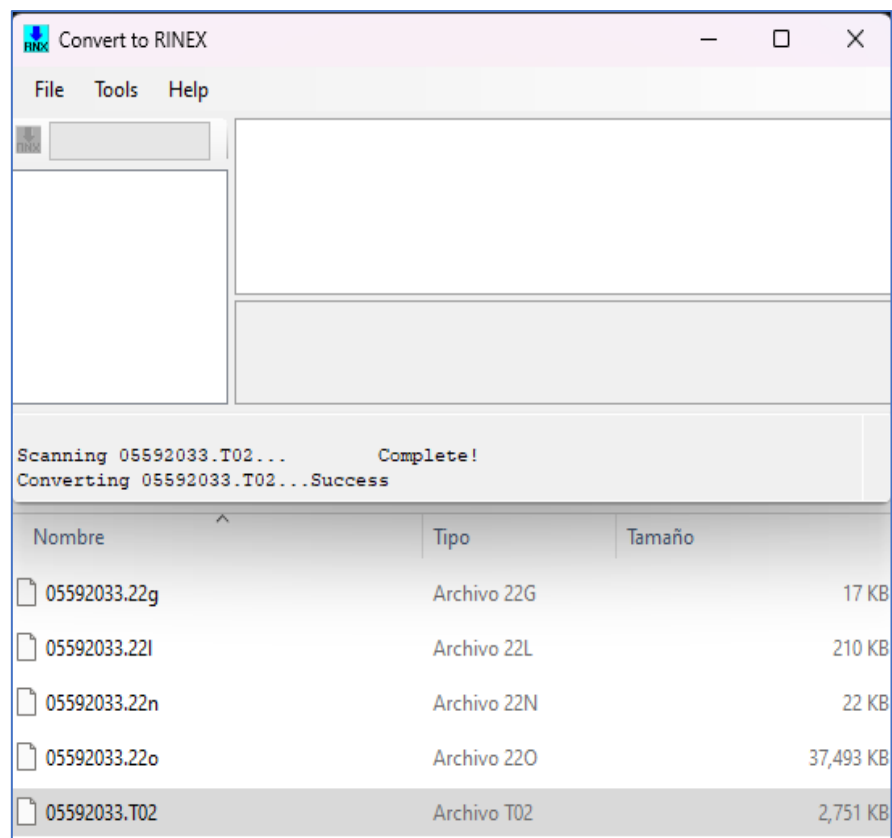
Aplicamos Convert files



Nota: Guardamos la data RINEX y aplicamos Convert files

Figura 24

Verificación de la data RINEX



Nota: Verificamos que la data RINEX se haya creado correctamente en el directorio especificado.

3.4.2.3 Organización de Datos:

Directorios

Figura 25

Directorios organizados para el procesamiento de datos.

Nombre	Tipo
01_Reg_drone_bb3	Carpeta de archivos
02_Base_trimbleR12_raw	Carpeta de archivos
03_Conv_data_rinex	Carpeta de archivos
04_Fotografias_drone	Carpeta de archivos
05_Geotag_postflight	Carpeta de archivos
06_Project_Pix4D	Carpeta de archivos
07_Movil_trimbleR12_PFC	Carpeta de archivos

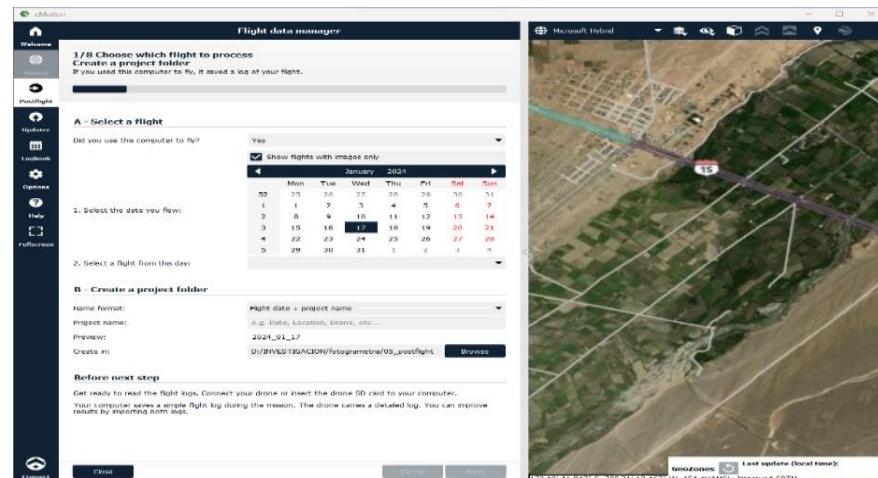
Nota: La figura muestra la estructura de carpetas organizadas para mantener un flujo de trabajo ordenado durante el procesamiento de datos. Las carpetas del 1 al 4 contienen los datos recuperados, incluyendo el registro del dron (BB3), el archivo nativo T02 del receptor GNSS base Trimble R12, la data RINEX convertida desde el archivo T02, y las fotografías de la cámara S.O.D.A. 3D montada en el dron eBee X. Las carpetas 5 y 6 contienen los productos generados, con la carpeta 5 dedicada al geoetiquetado de fotografías.

3.4.2.4 Geoetiquetado de Fotografías:

Software eMotion:

Figura 26

Vista general en la pestaña Postvuelo de eMotion

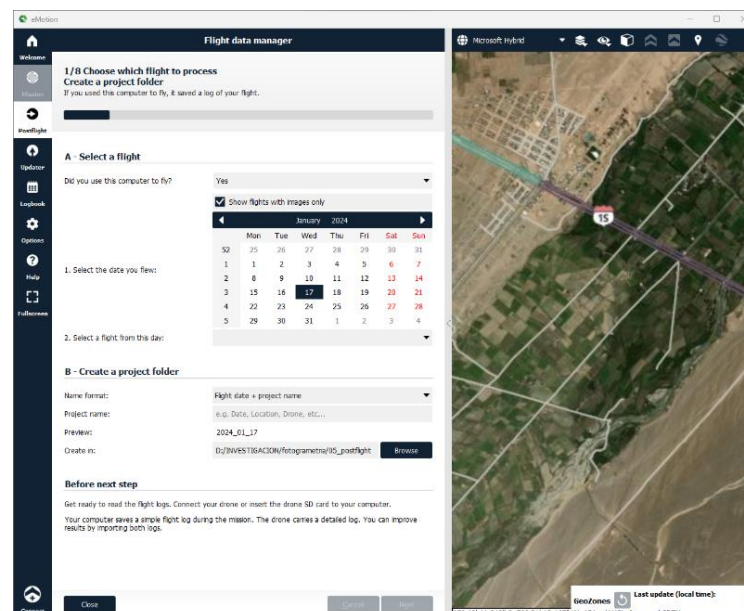


Nota: La figura muestra la vista general de la pestaña "Postflight" en el software eMotion 3.23, donde se inicia el proceso de postvuelo para el procesamiento y análisis de datos capturados durante la misión de vuelo.

Figura 27

Verificación del directorio para la creación del proyecto en eMotion

3.23.

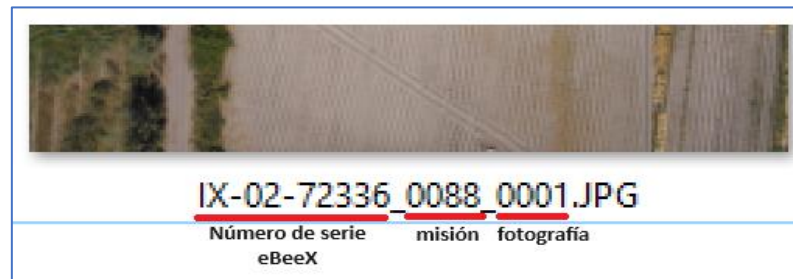


Nota: La figura muestra la configuración inicial en el software eMotion 3.23, donde se especifica que la computadora no fue utilizada para volar y se nombra el proyecto como "eBee_Vsama_01". Además, se verifica que el directorio seleccionado para crear la

carpeta del proyecto esté correctamente ubicado dentro del directorio número 5, "Geotag_Postflight".

Figura 28

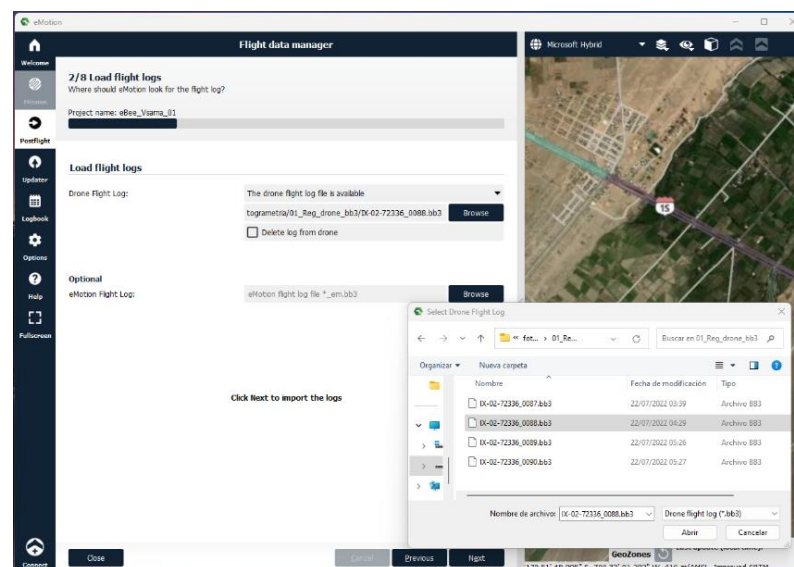
Selección de archivo de registro de vuelo en formato BB3.



Nota: La figura muestra el proceso en el software eMotion 3 donde se solicita el ingreso del registro de vuelo en formato BB3, almacenado en la carpeta 1.

Figura 29

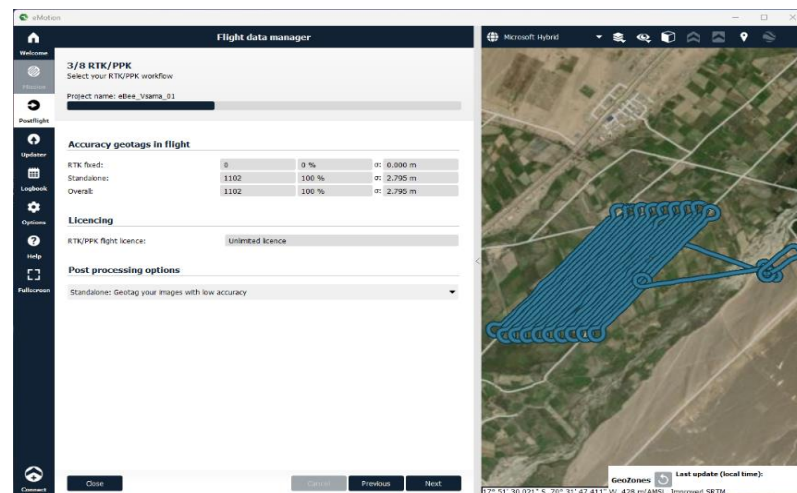
Verificación del código de la misión y el registro BB3 en eMotion 3.23.



Nota: La figura muestra la verificación del código de la misión en eMotion 3.23, asegurando que el registro BB3 seleccionado tenga el mismo número de código, 0088, que la misión correspondiente.

Figura 30

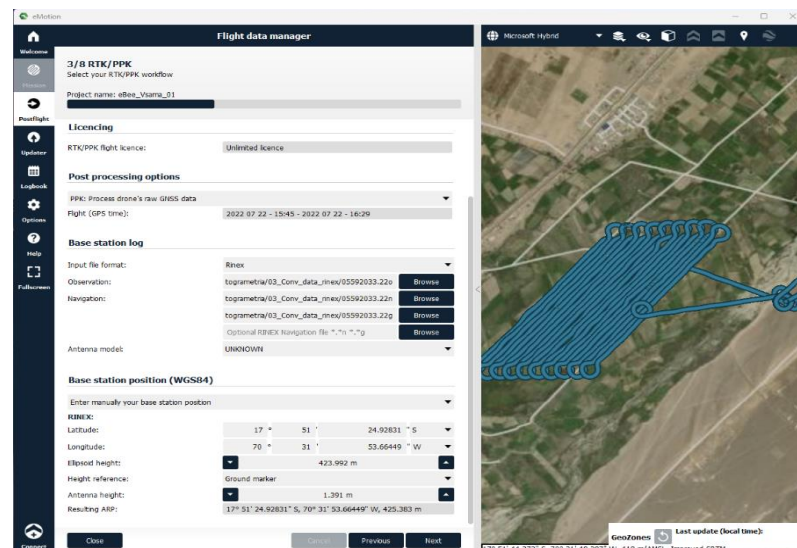
Precisiones alcanzadas sin corrección GNSS.



Nota: La figura muestra la ventana en eMotion 3.23 donde se revisan las precisiones alcanzadas durante el vuelo sin la corrección de una base GNSS. En este punto, se recomienda seleccionar la opción PPK (Post-Processing Kinematic) en la lista desplegable de opciones de post procesamiento.

Figura 31

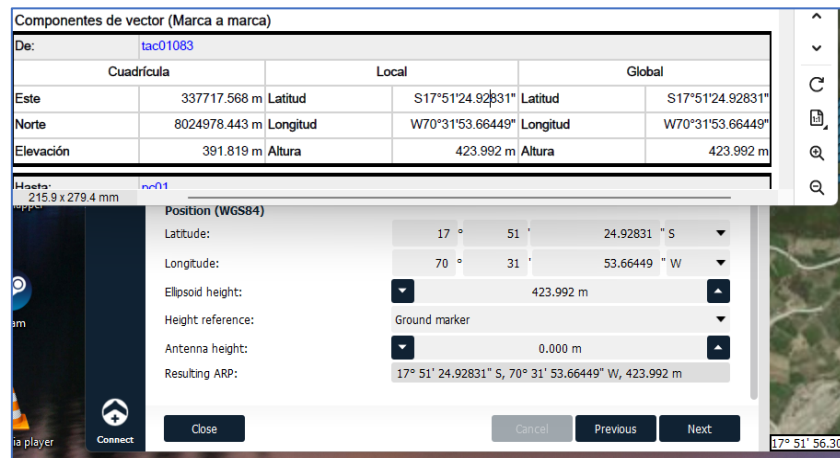
Selección de data Rinex



Nota: La figura muestra el proceso en eMotion 3.23 después de seleccionar la opción "PPK: procesar data cruda GNSS del dron."

Figura 32

Ingreso de coordenadas



Nota: Ingreso de coordenadas de posición de la estación base GNSS de código tac01083.

Figura 33

Reporte de monumento de la placa de bronce

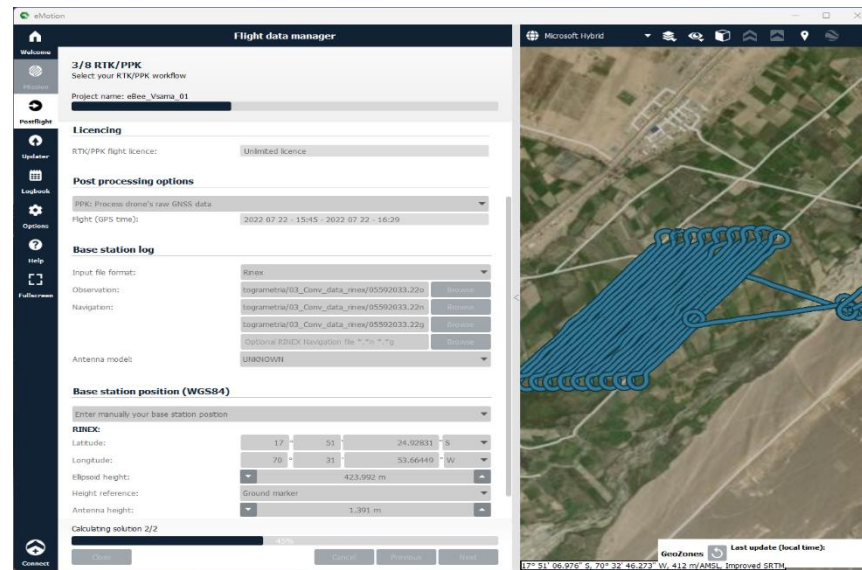
Ocupaciones

	De
ID de punto:	tac01083
Archivo de datos:	C:\Users\PMSGT\Documents\Trimble Business Center\Sin nombre\05592033.T02
Tipo de receptor:	R12
Número de serie del receptor:	6053F00559
Tipo de antena:	R12 Internal
Número de serie de la antena:	-----
Altura de la antena (medida):	1.3910 m
Método de antena:	Palanca de la extensión del R10

Nota: La figura muestra el reporte del monumento de la placa de bronce, la cual es crucial para garantizar la precisión en la recolección de datos GNSS.

Figura 34

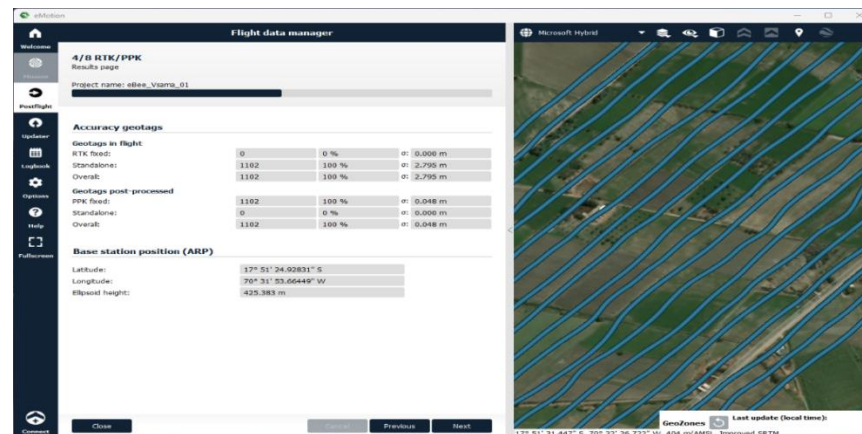
Resultados de las geoetiquetas post procesadas.



Nota: La figura muestra el proceso final de generación de geoetiquetas tras completar la entrada de datos y seleccionar la opción “Next”.

Figura 35

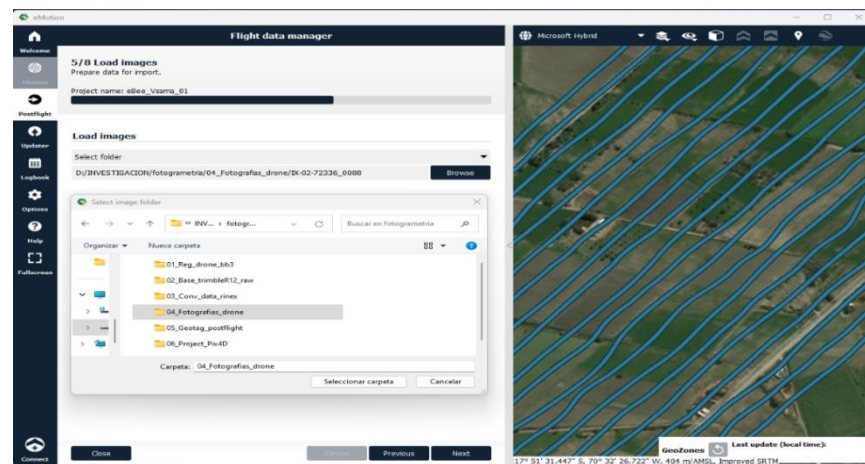
Comparación de geoetiquetas en vuelo y post procesadas.



Nota: La figura presenta dos cuadros comparativos: el primero muestra las geoetiquetas obtenidas durante el vuelo, mientras que la segunda muestra las geoetiquetas post procesadas. Se destaca la significativa reducción en la precisión, pasando de una desviación de 2.795 metros a 0.048 metros (equivalente a 4.5 centímetros)

Figura 36

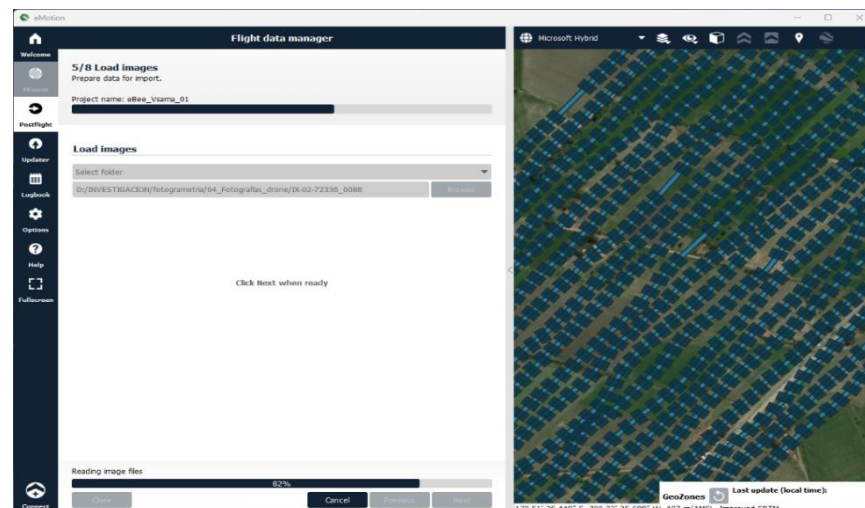
Selección de carpeta con imágenes recuperadas para geoetiquetado.



Nota: La figura muestra la pantalla de selección de carpeta en el software, donde se eligen las imágenes recuperadas de la tarjeta SD de la cámara. Estas imágenes, almacenadas en la carpeta 4.

Figura 37

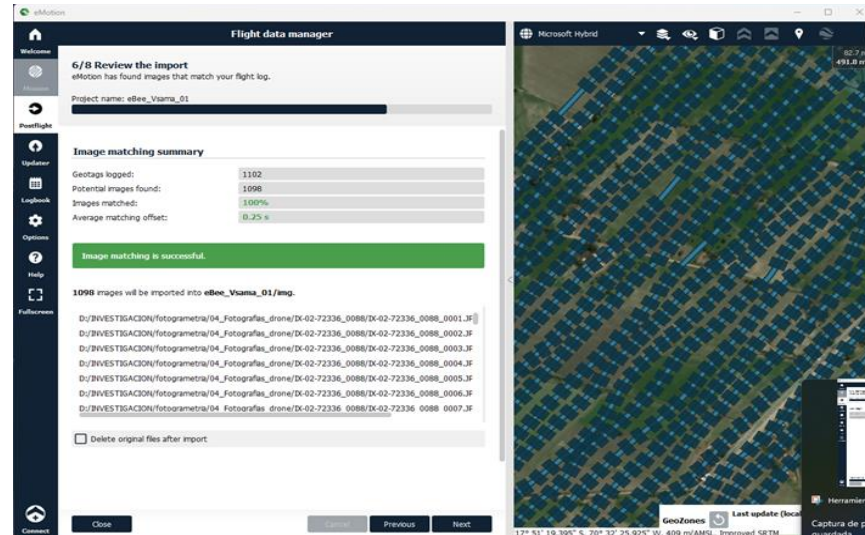
Proceso de lectura de archivos ingresados para geoetiquetado.



Nota: La figura muestra el software leyendo los archivos seleccionados desde la carpeta correcta.

Figura 38

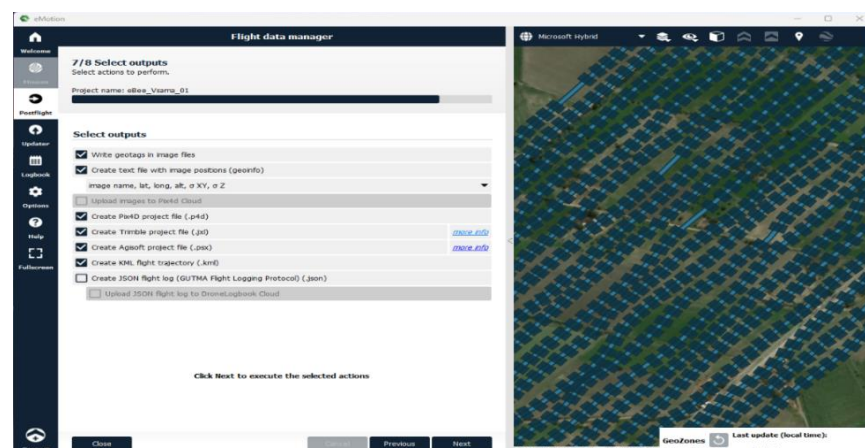
Ventana de resultados de coincidencia de imágenes y desfase de emparejamiento.



Nota: La figura muestra la ventana de resultados que indica el porcentaje de imágenes coincidentes con las geotiquetas procesadas, así como el desfase de emparejamiento promedio. Este desfase, medido en segundos, revela una diferencia promedio de 0.25 segundos entre las coordenadas registradas en las fotografías y el registro del dron, lo que se traduce en una velocidad de 12 m/s o 43 km/h, coincidiendo con las especificaciones técnicas del dron eBee X.

Figura 39

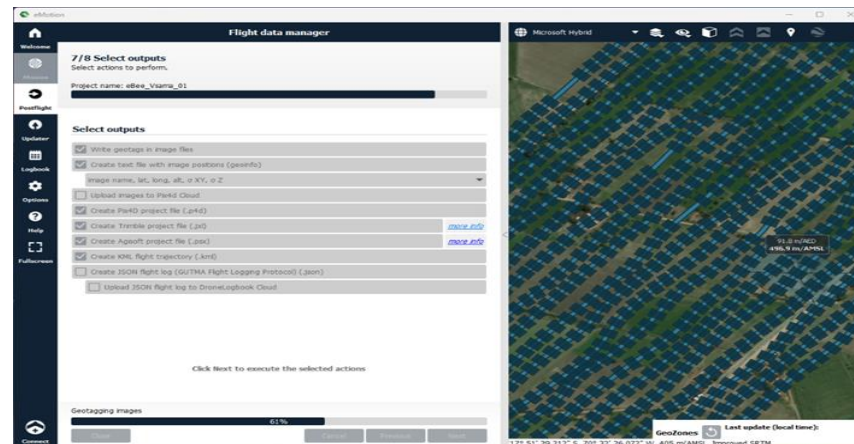
Ventana final de geotiquetado y selección de archivos de salida.



Nota: La figura muestra la ventana final del proceso de geotiquetado, donde se seleccionan los archivos de salida para su almacenamiento.

Figura 40

Selección de archivos para la generación de archivos de salida.



Nota: La figura muestra la pantalla donde, por defecto, todos los archivos aparecen seleccionados para la generación de archivos de salida.

Figura 41

Ventana final de registro y organización de archivos en eMotion 3.23.

Nombre	Tipo
ebee_vsama_01.files	Carpeta de archivos
img	Carpeta de archivos
ebee_vsama_01.jxl	Archivo JXL
ebee_vsama_01.kml	KML
ebee_vsama_01.p4d	Pix4D file
ebee_vsama_01.psx	Archivo PSX
ebee_vsama_01_geoinfo.txt	Documento de te...
IX-02-72336_0088.bb3	Archivo BB3

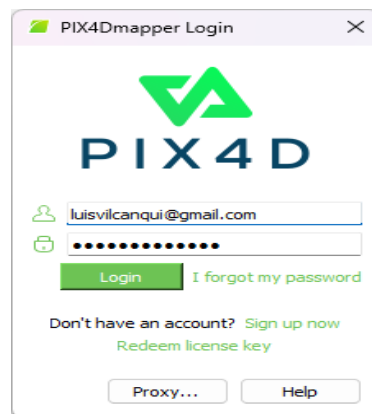
Nota: La figura muestra la ventana final de registro en el software eMotion 3.23, indicando que todo el proceso de geotiquetado ha sido completado y los archivos han sido organizados en la carpeta de proyecto número 5.

3.4.2.5 Procesamiento de Fotografías Aéreas:

Software Pix4Dmapper:

Figura 42

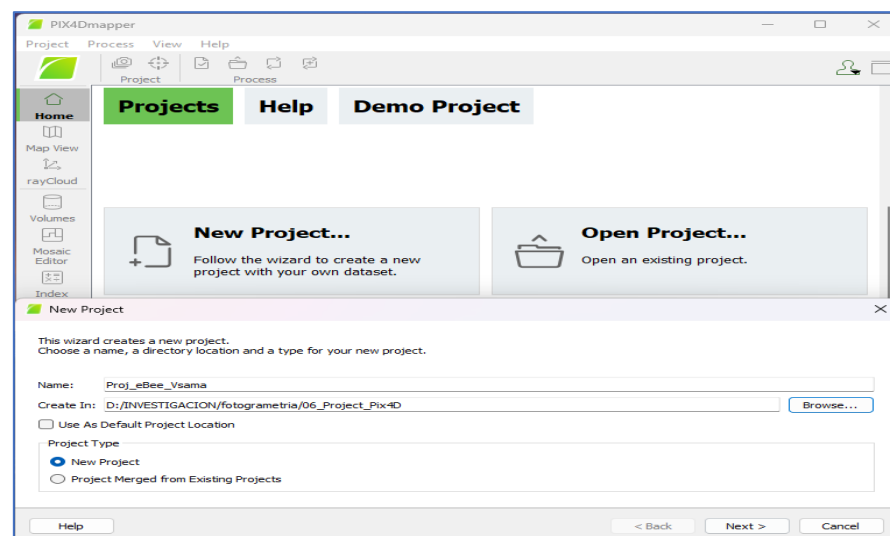
Ventana de registro en Pix4Dmapper.



Nota: La figura muestra la ventana de registro del software Pix4Dmapper, donde se requiere la entrada del usuario y contraseña para acceder a la licencia.

Figura 43

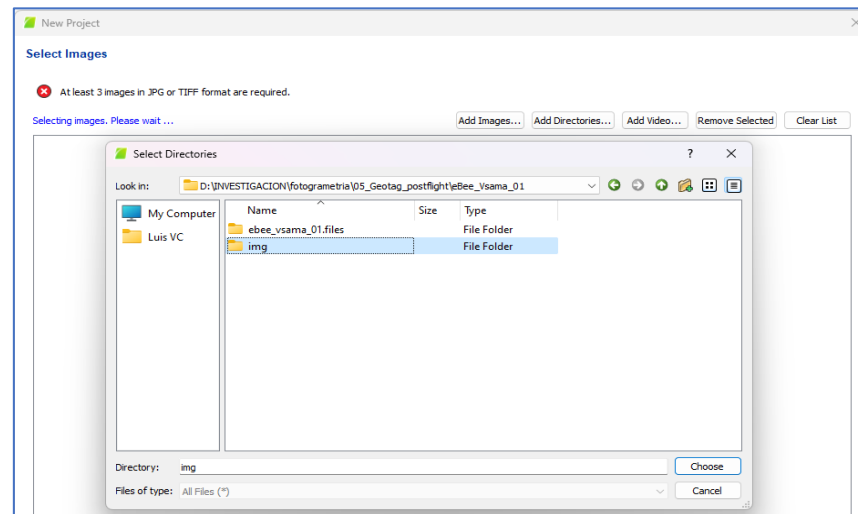
Creación de un nuevo proyecto en Pix4Dmapper.



Nota: La figura muestra la interfaz del software Pix4Dmapper durante la creación de un nuevo proyecto.

Figura 44

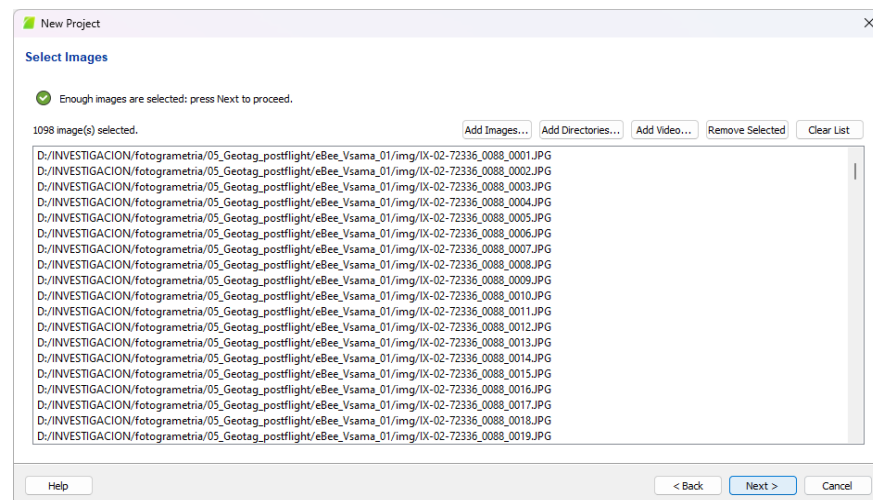
Selección de directorio de imágenes en Pix4Dmapper.



Nota: La figura muestra la interfaz de Pix4Dmapper durante el proceso de selección de imágenes para procesamiento. En esta etapa, las imágenes se seleccionan desde el directorio correspondiente, ubicado en la carpeta número 5.

Figura 45

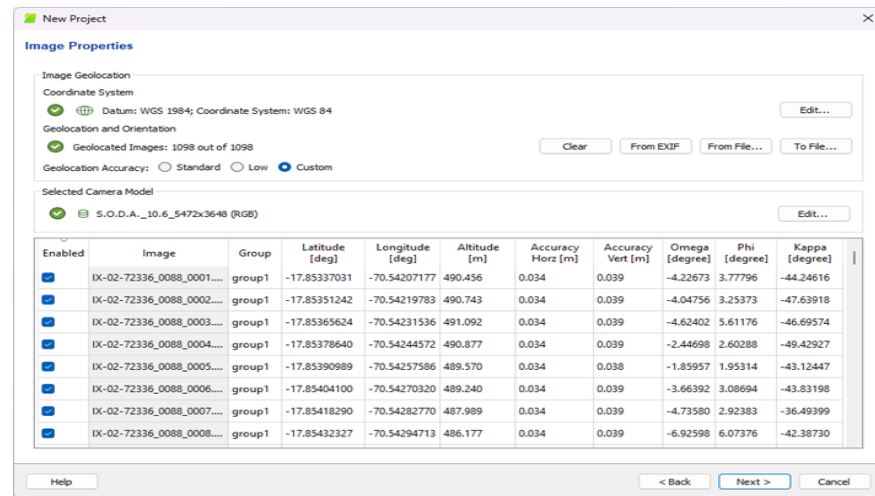
Imágenes seleccionadas para el procesamiento en Pix4Dmapper.



Nota: La figura muestra la ventana de Pix4Dmapper después de seleccionar el directorio de imágenes para el procesamiento. Se verifica que se han seleccionado un total de 1,098 imágenes.

Figura 46

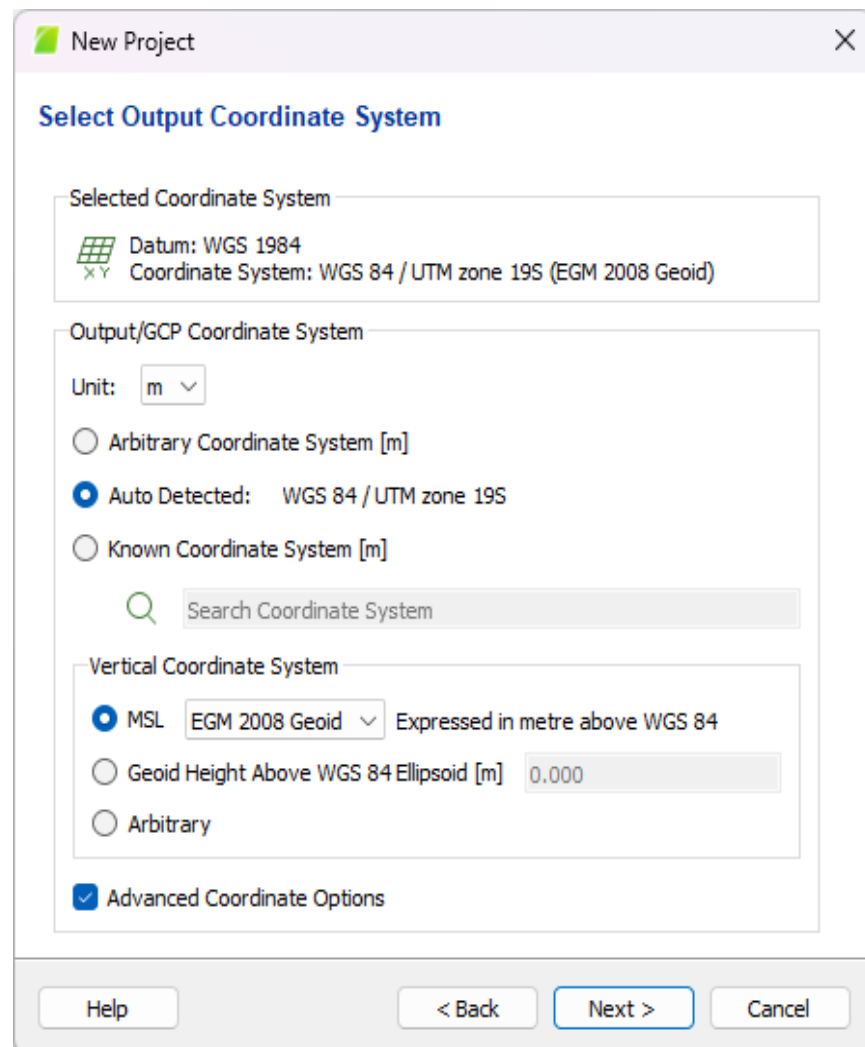
Verificación de propiedades de fotografías aéreas en Pix4Dmapper.



Nota: La figura muestra la ventana de Pix4Dmapper donde se verifican las propiedades de las imágenes seleccionadas para el procesamiento. El software selecciona automáticamente el sistema de coordenadas, orientación, geolocalización y modelo de la cámara. Las columnas de precisión horizontal y vertical muestran las precisiones alcanzadas después del proceso de geoetiquetado.

Figura 47

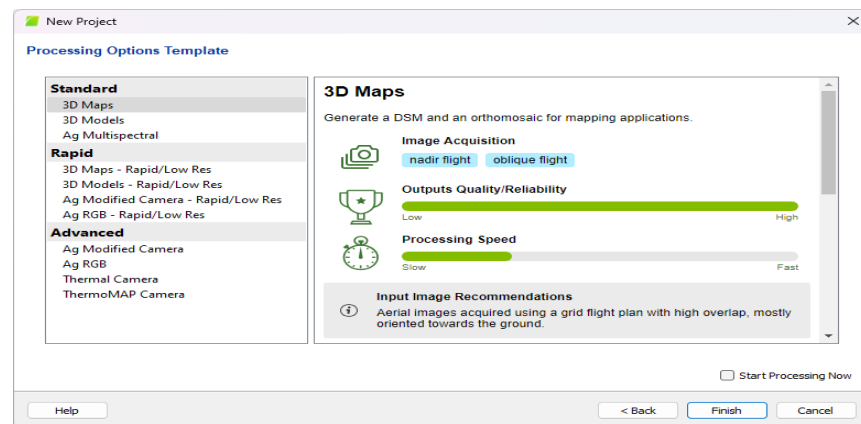
Selección de sistemas de coordenadas de salida en Pix4Dmapper



Nota: La figura muestra la interfaz de Pix4Dmapper durante el proceso de selección del sistema de coordenadas de salida.

Figura 48

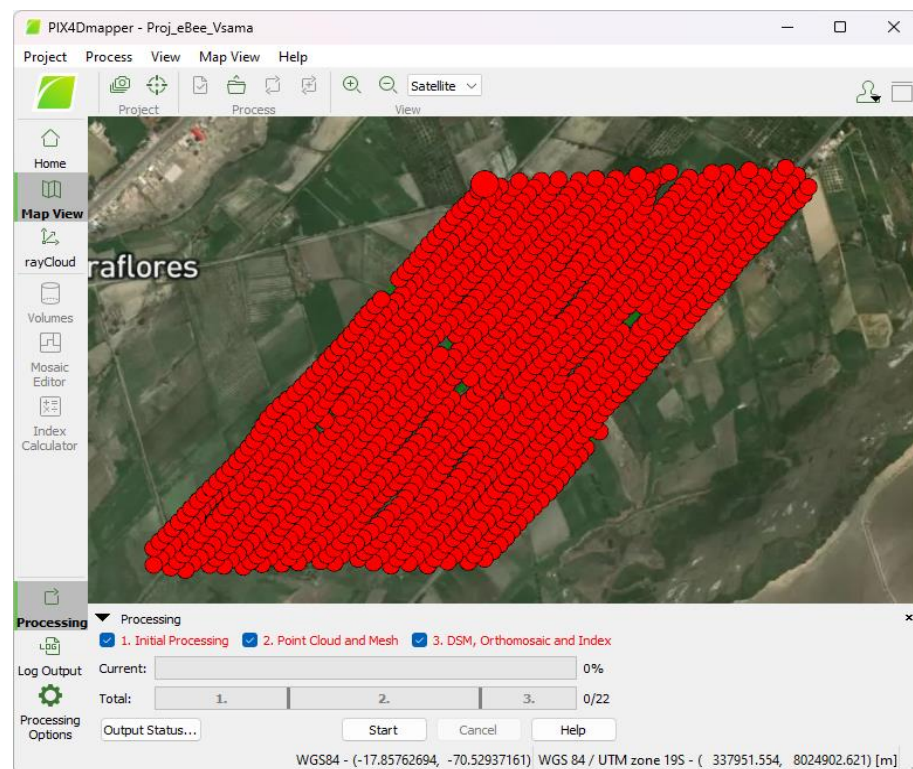
Elección de plantillas para procesamiento en Pix4Dmapper.



Nota: La figura muestra la pantalla en Pix4Dmapper donde se presentan varias plantillas personalizadas para la generación de resultados específicos. En este caso, se selecciona la plantilla “mapas 3D,” y se asegura que la opción “empezar a procesar ahora” esté desmarcada antes de hacer clic en “finalizar.”

Figura 49

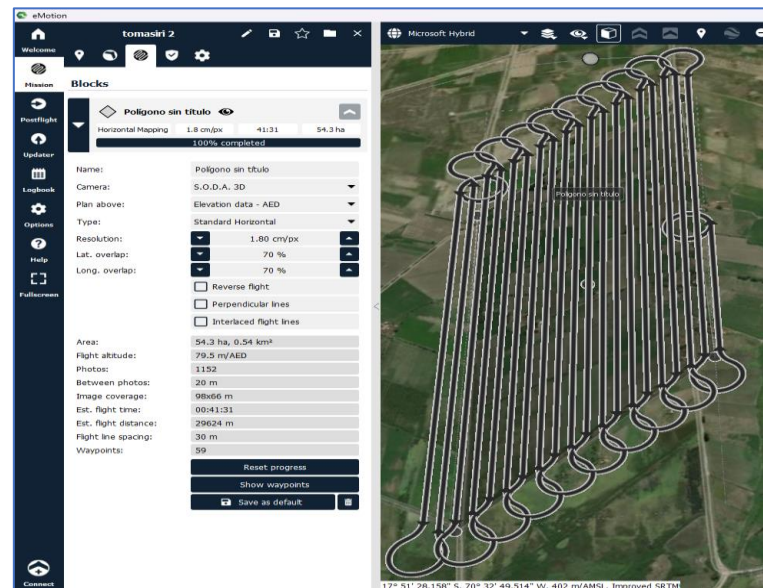
Vista general Pix4Dmapper



Nota: La figura muestra una vista general en Pix4Dmapper, donde cada punto rojo representa una captura fotográfica generada durante el proceso de vuelo.

Figura 50

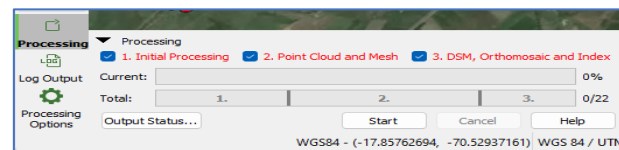
Revisión de datos de misión en eMotion 3.23.



Nota: La figura muestra la revisión de datos de la misión ejecutada en campo, visualizada en el software eMotion 3.23. El plan de vuelo fue diseñado para mapeo horizontal, logrando una resolución espacial de 1.8 cm/px (GSD) en un área de 54 hectáreas durante 41 minutos y 31 segundos. Se detalla el uso de la cámara S.O.D.A. 3D con una superposición lateral y transversal del 70%, cumpliendo los criterios para la generación de ortomosaicos, y una altura promedio de vuelo de 79.5 metros.

Figura 51

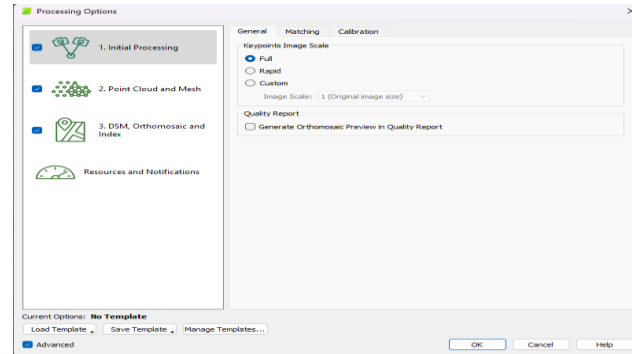
Configuración de parámetros en Pix4Dmapper.



Nota: La figura muestra la ubicación del botón "opciones de procesamiento" en la parte inferior de la ventana general de Pix4Dmapper. Este botón permite acceder a la configuración avanzada de parámetros.

Figura 52

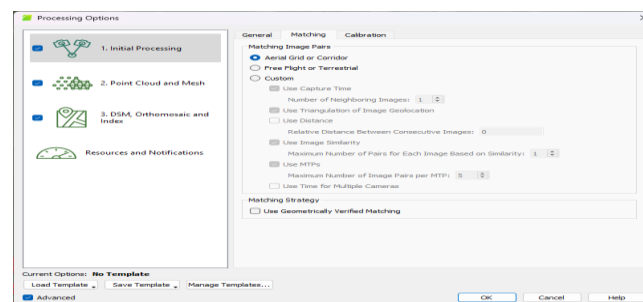
Configuración del procesamiento inicial en la pestaña general de Pix4Dmapper.



Nota: La figura muestra la configuración en la pestaña General durante el procesamiento inicial en Pix4Dmapper. Se ha marcado el cuadro de verificación “avanzado” para acceder a parámetros adicionales y se ha desmarcado la opción "Generar vista previa de ortomosaico en reporte" con el fin de evitar inconvenientes en el rendimiento de la computadora durante el procesamiento.

Figura 53

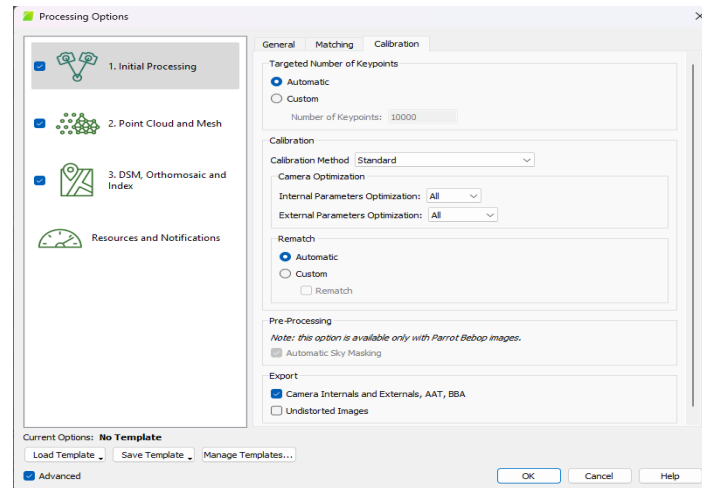
Configuración de coincidencias en la pestaña de procesamiento inicial de Pix4Dmapper.



Nota: La figura muestra la pestaña de Coincidencias en la configuración del procesamiento inicial en Pix4Dmapper. Se verifica que esté marcado el pareado de coincidencias e imágenes en el formato de “Malla aérea o corredor”.

Figura 54

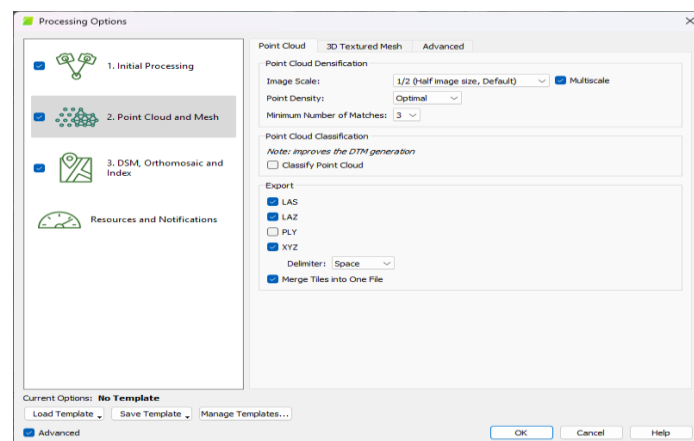
Configuración de calibración en la pestaña de procesamiento inicial de Pix4Dmapper.



Nota: La figura muestra la pestaña de Calibración en la configuración del procesamiento inicial en Pix4Dmapper. Se han dejado las opciones por defecto, manteniendo el método estándar y el reparado automático.

Figura 55

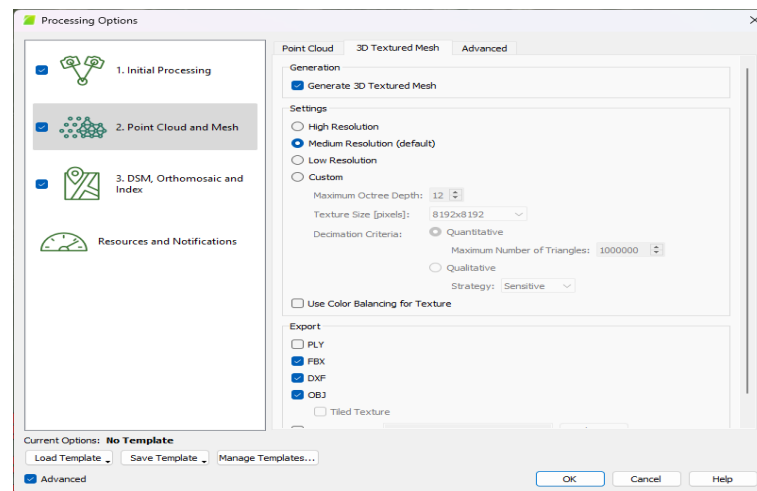
Configuración de la densidad de puntos en la pestaña Nube de puntos de Pix4Dmapper.



Nota: La figura muestra la pestaña Nube de puntos dentro de la sección "Nube de puntos y malla" en Pix4Dmapper. Se selecciona una densidad de puntos óptima con un mínimo de c3 coincidencias, lo cual es esencial para generar un modelo detallado. Aunque en este proyecto no se clasificarán los puntos, se deja la opción de exportar archivos en formatos compatibles como LAS, LAZ, y XYZ para su uso en programas de tratamiento de nubes de puntos.

Figura 56

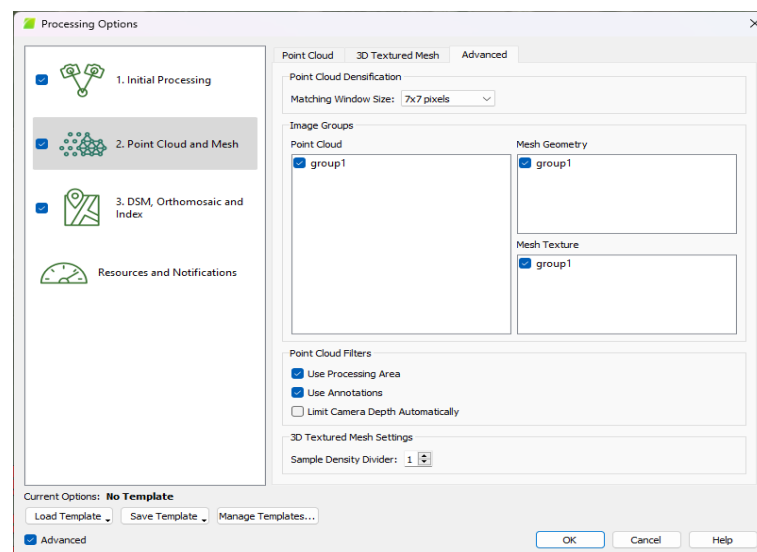
Configuración de la malla texturizada 3D en Pix4Dmapper.



Nota: La figura muestra la pestaña Malla texturizada 3D dentro de la sección "Nube de puntos y malla" en Pix4Dmapper. Se han dejado las opciones por defecto para la generación de la malla texturizada, aunque también es posible exportar archivos en formatos FBX, DXF, y OBJ, los cuales son compatibles con otros softwares de tratamiento de nubes de puntos.

Figura 57

Configuración de opciones avanzadas en la pestaña Nube de puntos y malla de Pix4Dmapper.

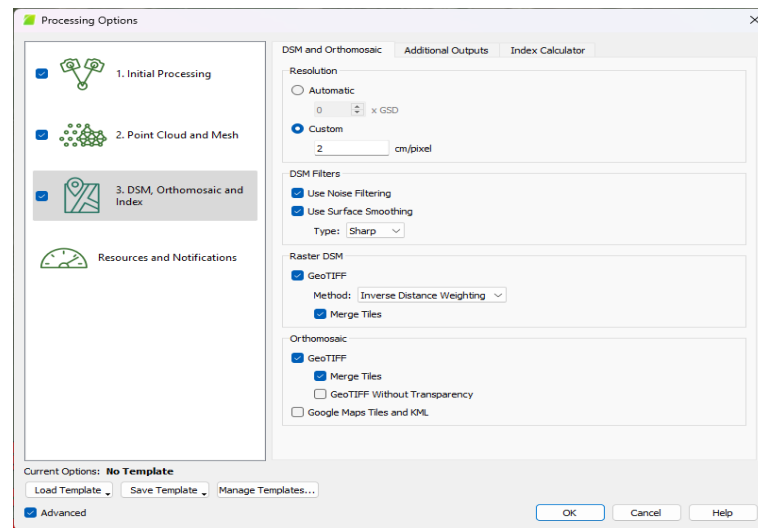


Nota: La figura muestra la pestaña Avanzado dentro de la sección "Nube de puntos y malla" en Pix4Dmapper. Se han mantenido las opciones por defecto en esta configuración.

avanzada para asegurar que el producto final no se vea alterado, garantizando la calidad y precisión del modelo generado.

Figura 58

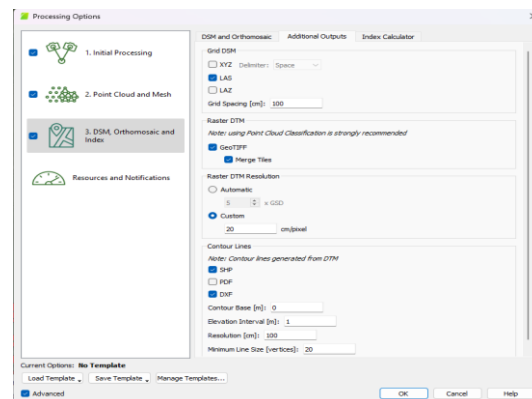
Personalización de la resolución espacial en la pestaña DSM y ortomosaico.



Nota: La figura muestra la pestaña DSM y ortomosaico dentro de la sección "DSM, ortomosaico e índice" en Pix4Dmapper. Se ha personalizado la resolución espacial, ajustando los 1.8 cm/px de la misión a 2 cm/px para generar píxeles de tamaño uniforme, lo que optimiza la calidad y consistencia del ortomosaico producido.

Figura 59

Configuración de archivos de salida adicionales en Pix4Dmapper.

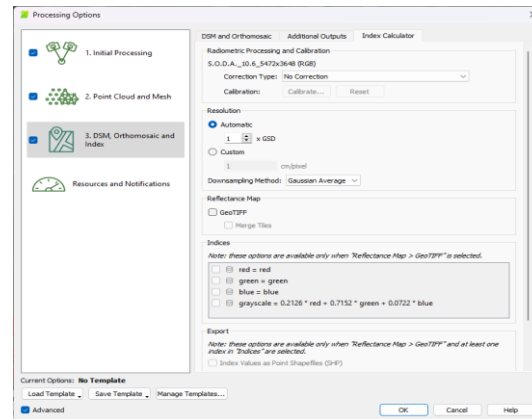


Nota: La figura muestra la pestaña de Archivos de salida adicionales dentro de la sección "DSM, ortomosaico e índice" en Pix4Dmapper. En esta configuración, se puede generar una malla a partir del DSM en formato LAS, fusionar teselas en el Raster DTM, y

configurar una resolución personalizada de 20 cm/px. Además, se pueden generar curvas de nivel, ajustando los formatos y el intervalo según las necesidades del proyecto.

Figura 60

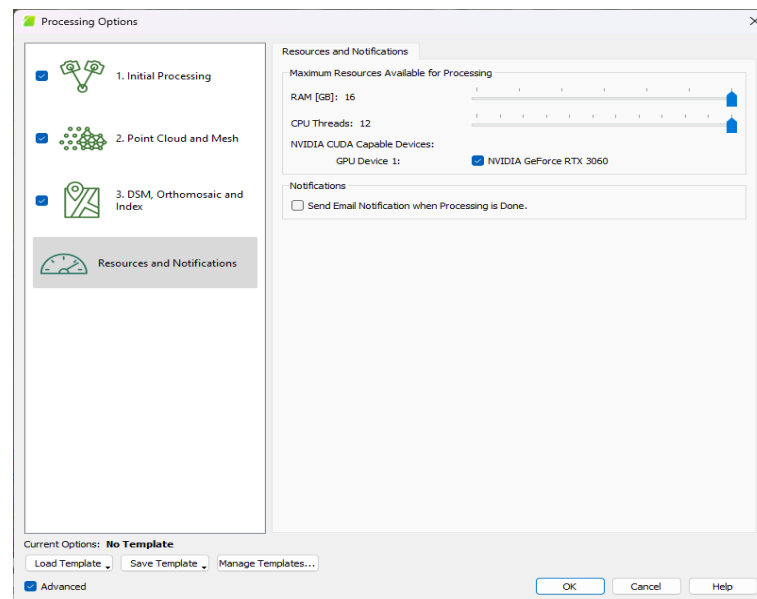
Configuración de la calculadora de índices en Pix4Dmapper.



Nota: La figura muestra la pestaña de la calculadora de índices dentro de la sección "DSM, ortomosaico e índice" en Pix4Dmapper. Para este proyecto, se han dejado los criterios por defecto en la pestaña de Índices, sin modificar los ajustes de calibración de la cámara, asegurando que los resultados se mantengan consistentes con las configuraciones predeterminadas.

Figura 61

Configuración de recursos y notificaciones en Pix4Dmapper.

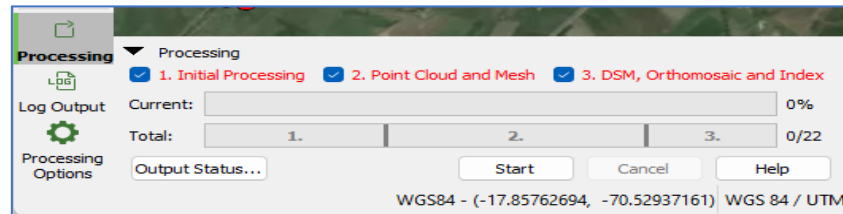


Nota: La figura muestra la pestaña de Recursos y notificaciones en Pix4Dmapper, donde se puede seleccionar la cantidad de recursos de la computadora que se emplearán para el

procesamiento. Para optimizar el rendimiento, se recomienda cerrar otros programas y permitir que la computadora utilice todos sus recursos disponibles, asegurando un procesamiento eficiente de las fotografías.

Figura 62

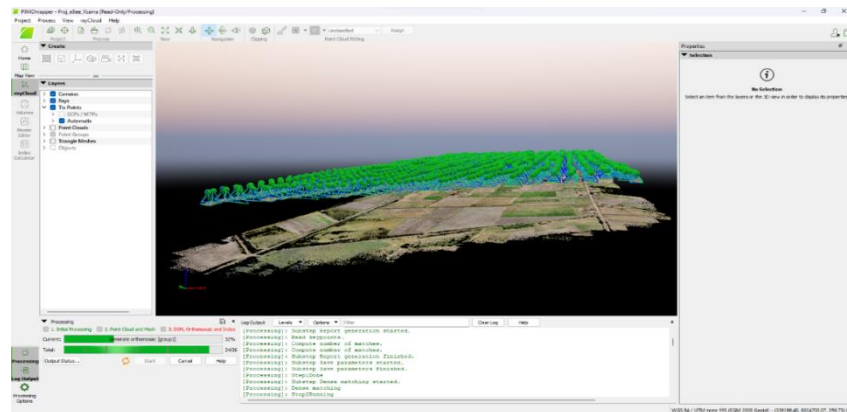
Opciones de procesamiento marcadas en Pix4Dmapper.



Nota: La figura muestra la ventana principal de Pix4Dmapper, con todas las opciones de procesamiento marcadas en rojo antes de iniciar el proceso. En este primer procesamiento, no se emplean Puntos de Fotocontrol, y la configuración se ha realizado para maximizar la eficiencia y precisión del análisis fotogramétrico.

Figura 63

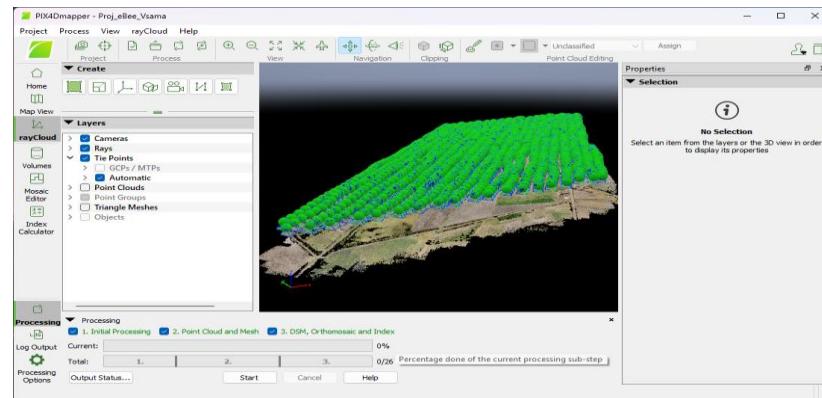
Procesamiento de imágenes en Pix4Dmapper.



Nota: La figura muestra el estado de procesamiento en Pix4Dmapper, utilizando todas las capacidades de hardware y software de la computadora. Se recomienda asegurar un flujo continuo de corriente eléctrica, ventilar adecuadamente el espacio, y configurar el plan de energía en Windows en modo de máximo rendimiento para evitar interrupciones. También es aconsejable desconectar los periféricos de entrada para evitar cualquier interacción accidental durante el procesamiento.

Figura 64

Procesamiento finalizado en Pix4Dmapper.



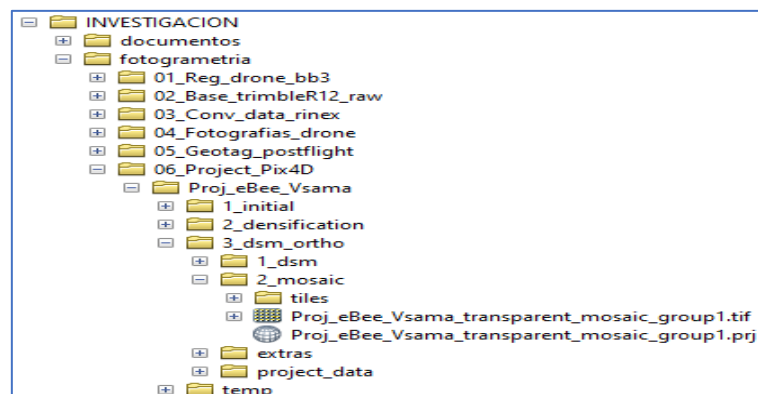
Nota: La figura muestra la pantalla de Pix4Dmapper con los tres pasos del procesamiento completados, indicados en color verde. El procesamiento, que tomó aproximadamente 6 horas, ha concluido exitosamente, lo que permite reconectar los periféricos y revisar los resultados obtenidos.

3.4.2.6 Visualización y Análisis de Resultados:

Software GIS:

Figura 65

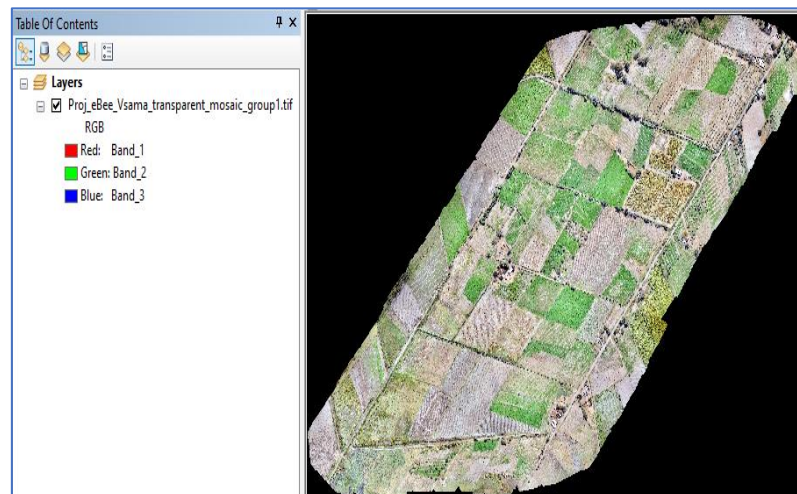
Directorio del ortomosaico en el software GIS.



Nota: La figura muestra la estructura del directorio en el software GIS, donde se accede a la carpeta número 6 y se localiza el archivo ráster en formato .TIF dentro de la subcarpeta "2_mosaic" del proyecto procesado en Pix4D. Este archivo ráster es agregado al espacio de trabajo.

Figura 66

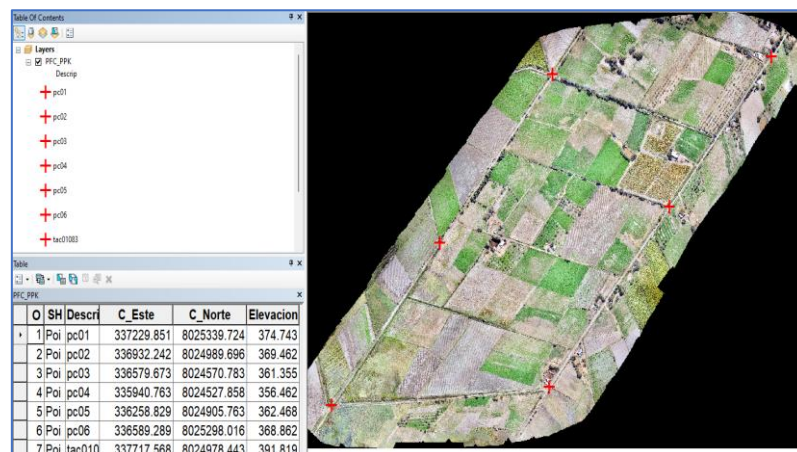
Vista del ortomosaico georreferenciado en el software GIS.



Nota: La figura muestra la vista general del ortomosaico georreferenciado en el software GIS, después de haber sido agregado al espacio de trabajo.

Figura 67

Coordenadas GNSS sobre ortomosaico en el software GIS.



Nota: La figura muestra el ortomosaico en el software GIS con los marcadores de coordenadas GNSS agregados, obtenidos mediante el método directo.

Figura 68

Superposición de datos GNSS sobre ortomosaico en el software GIS.



Nota: La figura muestra la superposición de los datos GNSS sobre el ortomosaico generado sin la adición de puntos de fotocontrol. A través del análisis visual, se observa que los puntos de fotocontrol pintados se encuentran muy cerca de las coordenadas registradas con el sistema GNSS, confirmando la alta precisión del ortomosaico, en línea con las especificaciones técnicas del dron eBee X equipado con una cámara S.O.D.A. 3D.

Figura 69

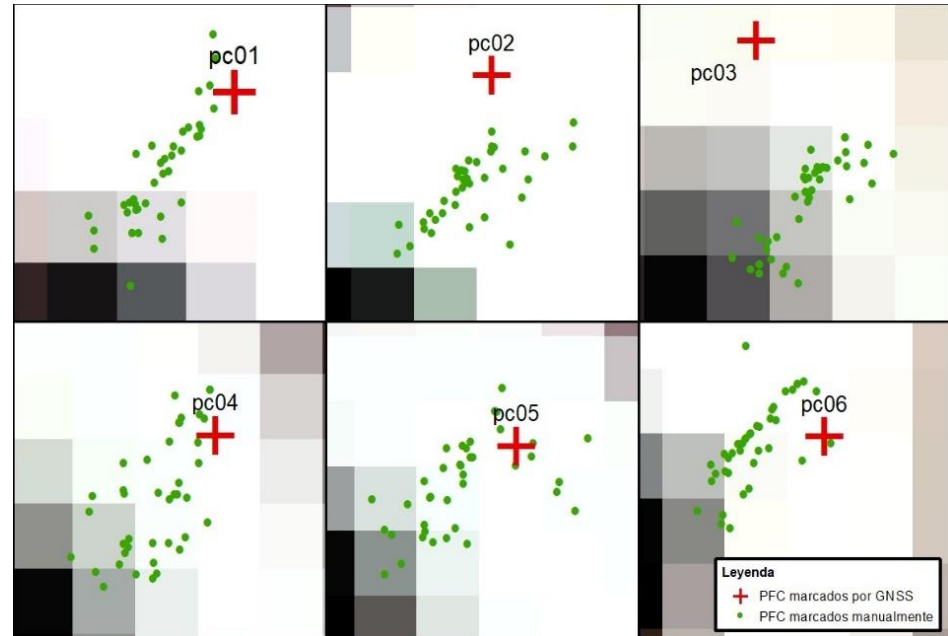
Posicionamiento de receptor GNSS sobre puntos de fotocontrol.



Nota: La fotografía muestra el posicionamiento del receptor GNSS sobre los puntos de fotocontrol marcados en tierra. Se observa que el equipo se colocó en el vértice interno de la marca, donde hay menos difusión de yeso, asegurando así una mayor precisión en la captura de datos geoespaciales.

Figura 70

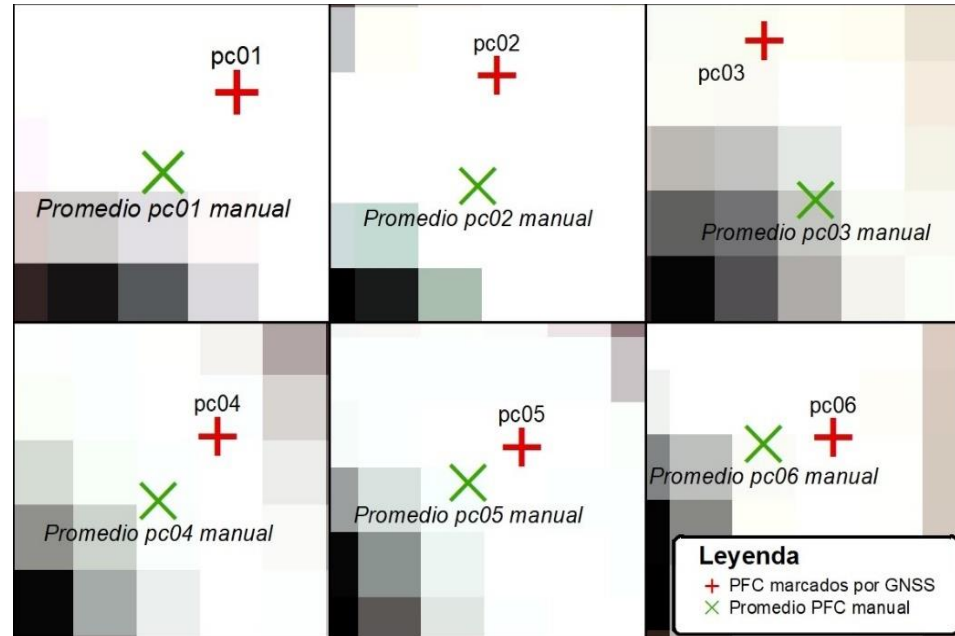
Dispersión de puntos marcados por estudiantes en comparación con datos GNSS.



Nota: La figura muestra la dispersión de los puntos marcados en verde por personal con conocimientos de SIG, en comparación con los datos GNSS en rojo. Los estudiantes utilizaron un ortomosaico con resolución espacial de 2 cm para marcar el vértice interno de las marcas en tierra en un archivo shapefile. Los 40 archivos shapefile resultantes proporcionan datos suficientes para calcular un promedio preciso de las marcas, demostrando la cercanía de las marcas que realizaron los estudiantes a los datos GNSS.

Figura 71

Promedio de dispersión de puntos marcados por personal en comparación con datos GNSS.



Nota: La figura muestra el promedio de la dispersión de puntos marcados en verde por personal con conocimientos de GIS, comparado con los datos GNSS en rojo. El análisis demuestra que el promedio de los puntos marcados por los estudiantes se aproxima considerablemente a los datos registrados por el sistema GNSS, lo que valida la precisión del proceso de marcación realizado.

Tabla 3

Resumen de Coordenadas: Método Indirecto (Promedio Marcas Manuales) vs. Método Directo (GNSS)

Descripción	Método indirecto (promedio marcas manuales)		Descripción	Método directo (GNSS)	
	Este	Norte		C_Este	C_Norte
M_pc01	337229.83	8025339.702	pc01	337229.851	8025339.724
M_pc02	336932.236	8024989.662	pc02	336932.242	8024989.696
M_pc03	336579.689	8024570.734	pc03	336579.673	8024570.783
M_pc04	335940.744	8024527.838	pc04	335940.763	8024527.858
M_pc05	336258.812	8024905.752	pc05	336258.829	8024905.763

Método indirecto (promedio marcas manuales)			Método directo (GNSS)		
Descripción	Este	Norte	Descripción	C_Este	C_Norte
M_pc06	336589.267	8025298.014	pc06	336589.289	8025298.016

Nota: La tabla presenta un resumen de las coordenadas Este y Norte obtenidas por los métodos indirecto y directo. El método indirecto corresponde al promedio de marcas manuales realizadas por personal con conocimientos de GIS, mientras que el método directo corresponde a los datos obtenidos mediante GNSS. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4

Diferencias y Distancias entre Coordenadas: Método Indirecto vs. Método Directo

Descripción	diferencia	diferencia	distancia	distancia
	Coordenadas	Coordenadas	horizontal	horizontal (en
	Este	norte	(en metros)	centímetros)
M_pc01 - pc01	0.021	0.022	0.030	3.00
M_pc02 - pc02	0.006	0.034	0.035	3.50
M_pc03 - pc03	-0.016	0.049	0.052	5.20
M_pc04 - pc04	0.019	0.020	0.028	2.80
M_pc05 - pc05	0.017	0.011	0.020	2.00
M_pc06 - pc06	0.022	0.002	0.022	2.20

Nota: La tabla muestra las diferencias en las coordenadas Este y Norte entre los métodos indirecto (marcas manuales) y directo (GNSS), así como las distancias horizontales resultantes. Las diferencias mínimas indican una alta precisión en la superposición de los datos obtenidos por ambos métodos. El promedio del desplazamiento de coordenadas sin puntos de fotocontrol (PFC) es de 3.10 centímetros. Fuente: Elaboración propia.

3.5 PROCEDIMIENTO PARA EL SEGUNDO OBJETIVO

3.5.1 Creación de Proyecto en Pix4D para la Generación de Nuevos

Productos

Copiado y renombrado de la carpeta del proyecto:

Figura 72

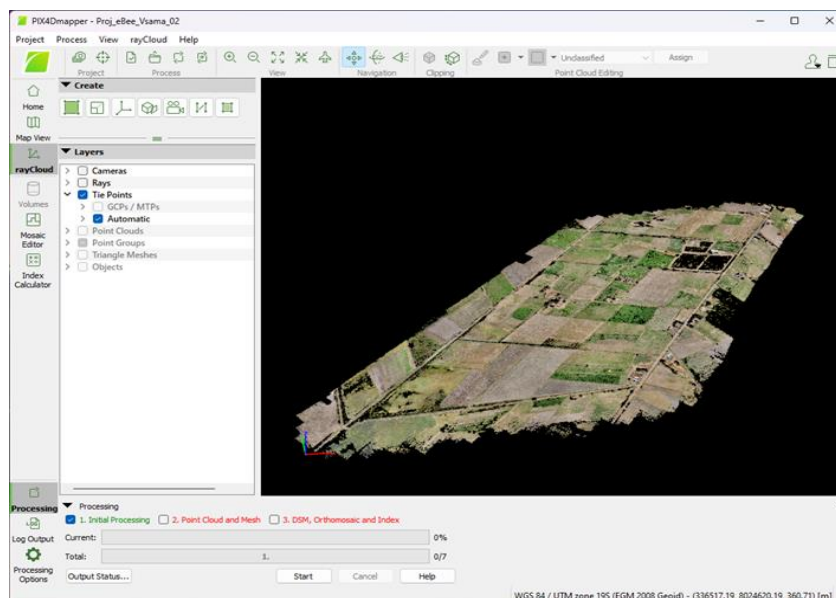
Creación de nueva carpeta en el directorio de proyecto.

Nombre	Tipo
01_Reg_drone_bb3	Carpeta de archivos
02_Base_trimbleR12_raw	Carpeta de archivos
03_Conv_data_rinex	Carpeta de archivos
04_Fotografias_drone	Carpeta de archivos
05_Geotag_postflight	Carpeta de archivos
06_Project_Pix4D	Carpeta de archivos
07_Movil_trimbleR12_PFC	Carpeta de archivos
08_Project_Pix4D_2	Carpeta de archivos

Nota: La figura muestra la creación de la nueva carpeta número 8 en el directorio de proyecto, copiada y renombrada desde la carpeta 6. Este paso se realizó para mantener los criterios de procesamiento previamente establecidos, pero con la adición de puntos de fotocontrol y la optimización del remarcado antes de ejecutar los pasos 2 y 3 en Pix4D.

Figura 73

Barra de procesamiento en Pix4D con pasos 2 y 3 en rojo.



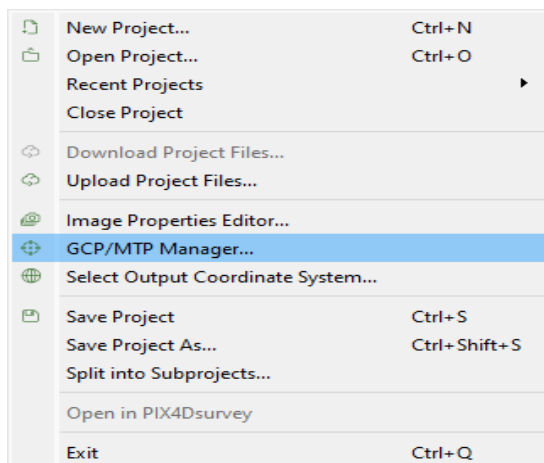
Nota: La figura muestra la barra de procesamiento en Pix4D después de renombrar y guardar el proyecto, donde los pasos 2 y 3 aparecen en rojo debido a la creación del nuevo directorio para el proyecto. El paso 1, que ya figura en verde, debe haberse completado con éxito antes de proceder a la adición de puntos de fotocontrol.

3.5.2 Adición de Puntos de Fotocontrol (PFC) en Pix4D

Acceso al Administrador de Puntos:

Figura 74

Acceso al administrador de Puntos en Pix4Dmapper.

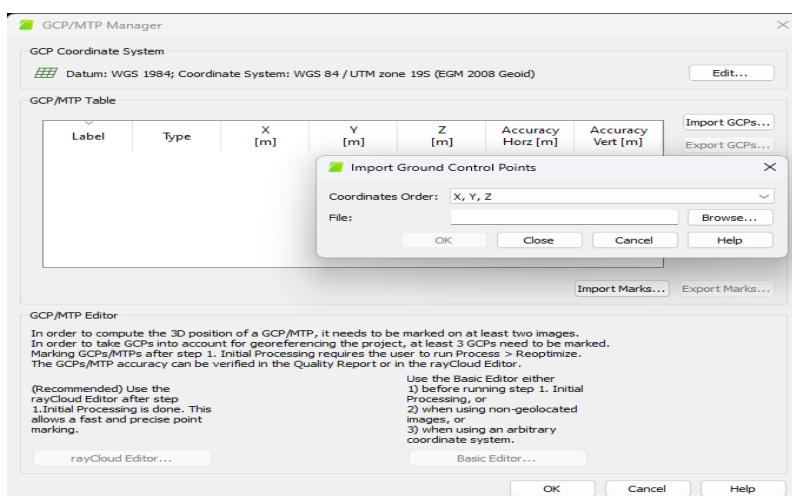


Nota: La figura muestra cómo acceder al administrador de Puntos en Pix4Dmapper a través del menú desplegable que se obtiene al hacer clic en "Proyecto".

Importación de PFC:

Figura 75

Importación de puntos de control (GCPs) en Pix4Dmapper.

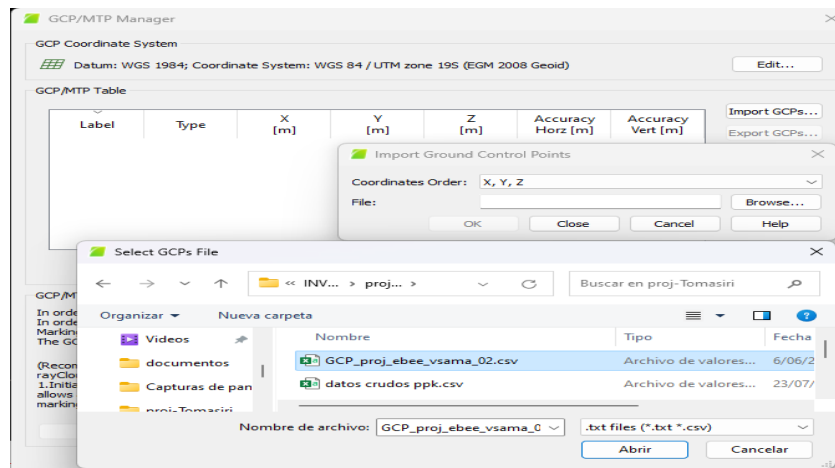


Nota: La figura muestra la ventana en Pix4Dmapper donde se selecciona la opción "Importar GCPs" (Ground Control Points). El software especifica que los GCPs deben estar en formato X,

Y, Z o Y, X, Z, por lo que es necesario preparar el archivo de valores en este formato antes de la importación.

Figura 76

Selección del archivo CSV para importación de GCPs en Pix4Dmapper.

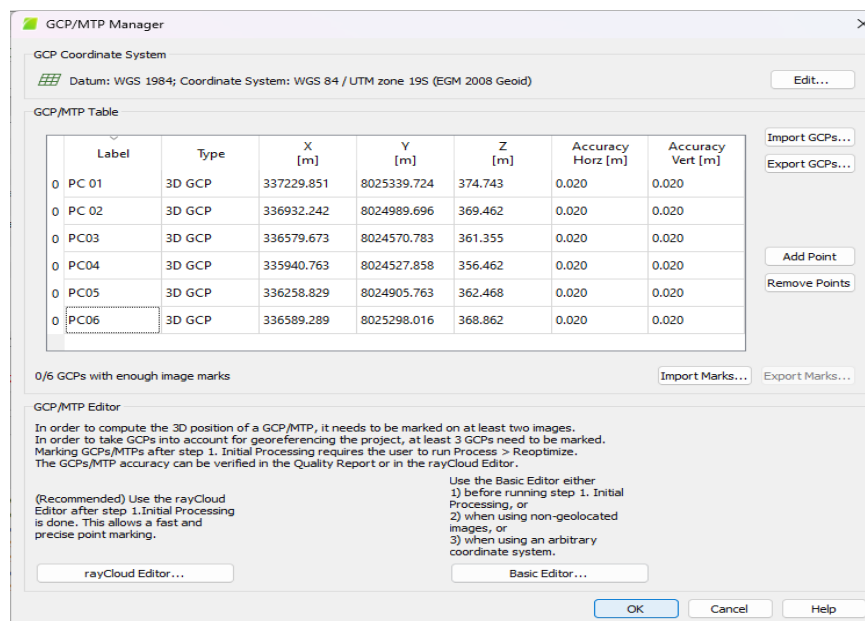


Nota: La figura muestra el proceso de selección del archivo CSV delimitado por comas en Pix4Dmapper, que contiene los valores de los puntos de control (GCPs).

Marcado de PFC en las Imágenes:

Figura 77

Verificación de puntos GNSS en Pix4Dmapper.

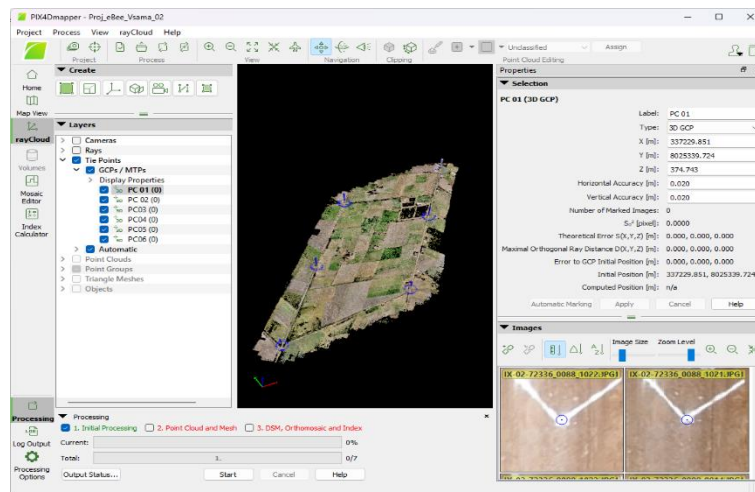


Nota: La figura muestra la ventana en Pix4Dmapper donde se visualizan los 6 puntos de control (GCPs) marcados por el sistema GNSS. Los campos de precisión horizontal y vertical se dejan

con los valores por defecto. Después de verificar que los puntos sean correctos, se procede a hacer clic en "Ok" para completar el proceso de importación.

Figura 78

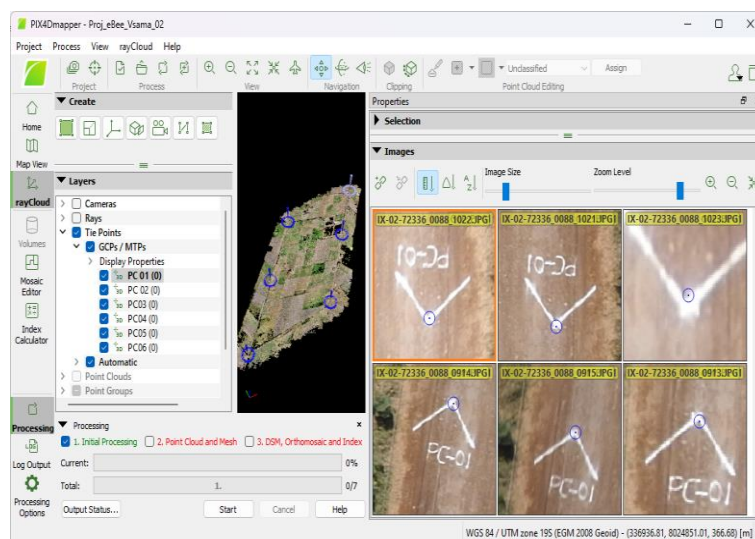
Visualización de puntos de fotocontrol en Pix4Dmapper.



Nota: La figura muestra la ventana principal de Pix4Dmapper donde se visualizan los 6 puntos de fotocontrol (PFC). En el panel izquierdo, los puntos aparecen listados, mientras que en el lado derecho se muestran las propiedades de la selección de PFC. El objetivo de este paso es marcar en las fotografías la ubicación precisa de la posición del equipo GNSS en campo.

Figura 79

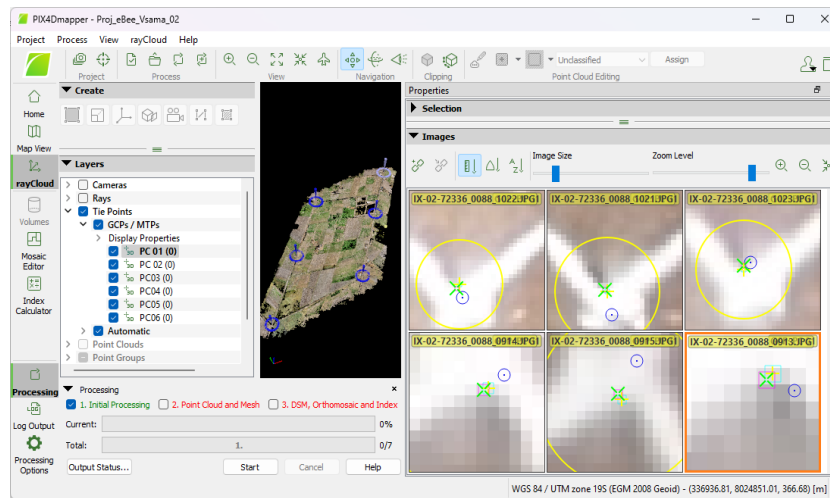
Marcado manual de puntos de fotocontrol en Pix4Dmapper.



Nota: La figura muestra el proceso de marcado manual de puntos de fotocontrol (PFC) en Pix4Dmapper. Se ha ampliado el panel derecho y realizado un zoom en las imágenes para garantizar mayor precisión durante el marcado de los puntos GNSS en las fotografías.

Figura 80

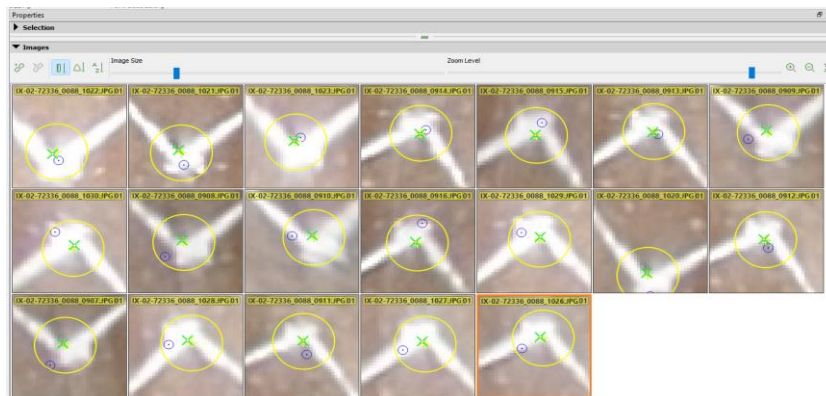
Marcado de puntos en el vértice interior de la marca en Pix4Dmapper.



Nota: La figura muestra el proceso de marcado de puntos en Pix4Dmapper, donde se realiza un solo clic en el vértice interior de la marca en tierra. Tras marcar todos los puntos, se lleva a cabo una revisión exhaustiva para asegurar que no falte ninguna fotografía.

Figura 81

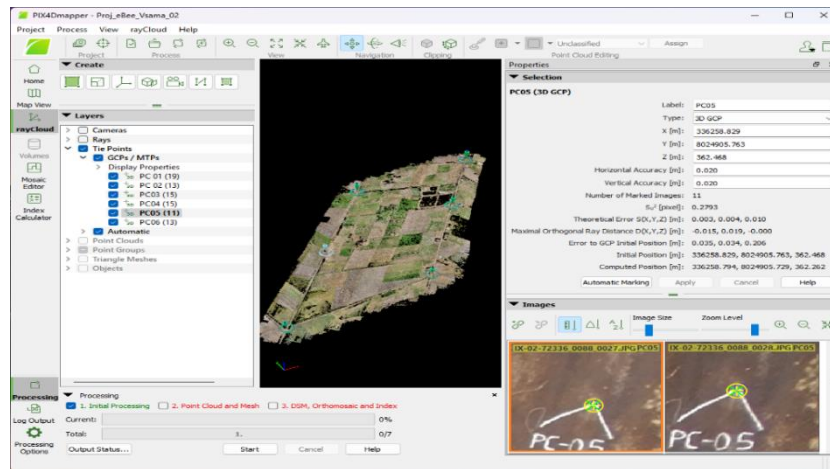
Aplicación de puntos de fotocontrol en Pix4Dmapper.



Nota: La figura muestra la pestaña de Selección en Pix4Dmapper después de marcar todas las fotografías donde aparece un punto de fotocontrol (PFC). Al hacer clic en "Aplicar," los ajustes se confirman para ese PFC. Este procedimiento se repite para los 6 puntos de fotocontrol.

Figura 82

Finalización del marcado de puntos de fotocontrol en Pix4Dmapper.

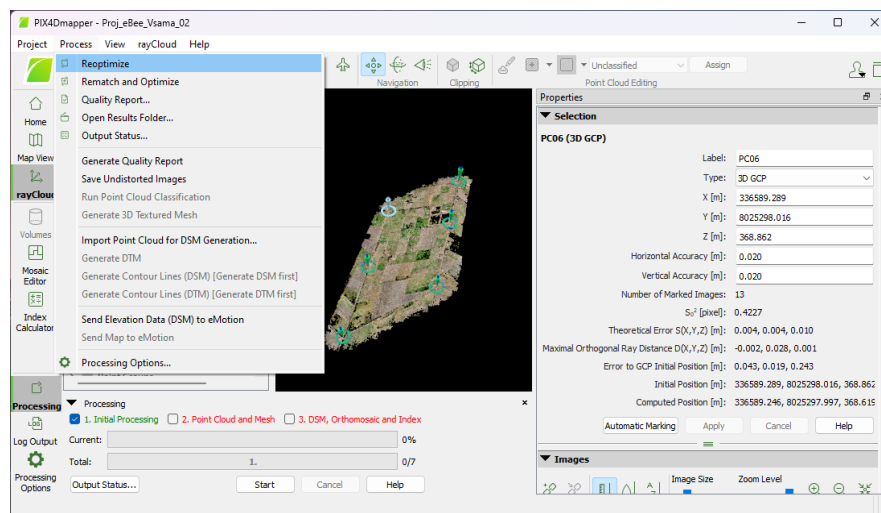


Nota: La figura muestra el panel izquierdo de Pix4Dmapper, donde se observa que cada punto de fotocontrol ha sido marcado en un número considerable de fotografías.

Optimización del Modelo:

Figura 83

Reoptimización del modelo en Pix4Dmapper.



Nota: La figura muestra la ubicación de la opción "Reoptimizar" dentro del menú de procesamiento en la parte superior izquierda de la ventana de Pix4Dmapper. Este paso es necesario para reoptimizar el modelo y ejecutar nuevamente los pasos 2 y 3, mejorando la precisión del proyecto después de la aplicación de los puntos de fotocontrol.

3.5.3 Obtención y Extracción de Datos de Elevación

Uso de Software GIS (ArcGIS Pro 3.3.0):

- Una vez generados los productos, se utiliza ArcGIS Pro 3.3.0 para la extracción de información y datos correspondientes al segundo objetivo específico.

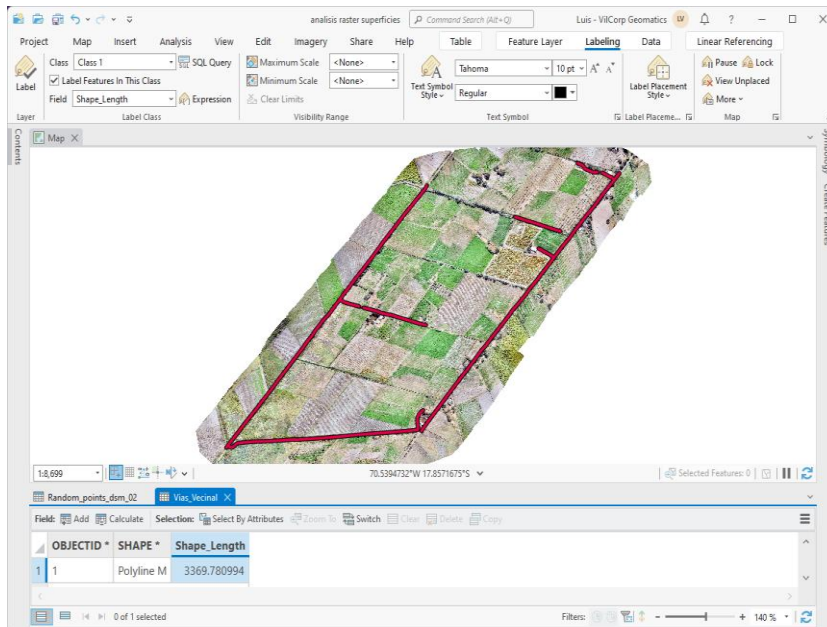
Criterios para la Selección de Superficies:

- Se seleccionan vías de comunicación (vías vecinales y trochas) como superficies fijas y estables para el análisis, ya que estas no poseen cobertura vegetal y no cambian constantemente.

Dispersión de Puntos Aleatorios:

Figura 84

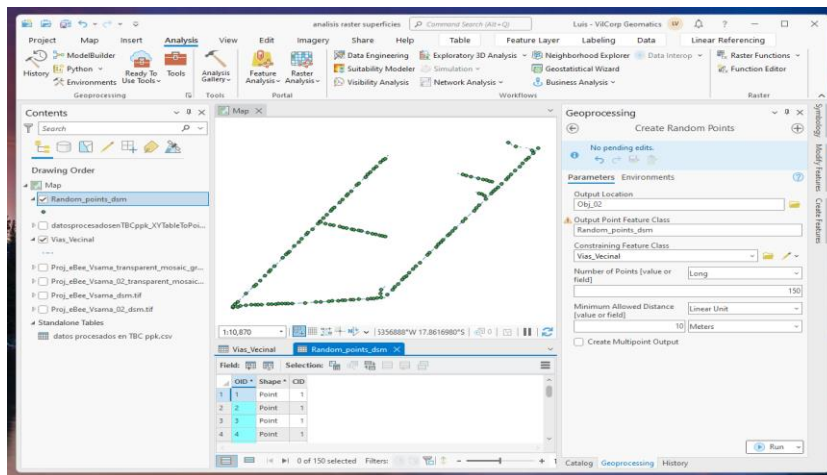
Trazado de vías en formato vectorial dentro del ortomosaico.



Nota: La figura muestra el trazado de vías en formato vectorial de línea realizado dentro del ortomosaico, utilizado para optimizar el tiempo y garantizar la aleatoriedad en la colocación de puntos aleatorios para el muestreo. Este proceso resultó en un total de 3369.8 metros de trazos, que serán utilizados para análisis geoespacial en el proyecto.

Figura 85

Creación de puntos aleatorios sobre el trazado de vías en ArcGIS.

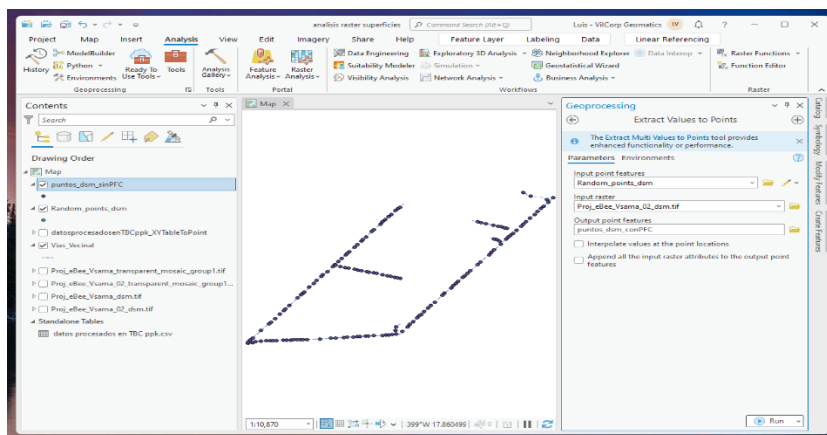


Nota: La figura muestra el uso de la herramienta de geoprocésamiento en ArcGIS para la creación de puntos aleatorios sobre el trazado de vías. Se especificó la creación de 150 puntos aleatorios distribuidos a lo largo de los 3,369.8 metros de vías, con una distancia mínima permitida de 10 metros entre los puntos para evitar que estén demasiado cercanos entre sí.

Extracción de Valores de Elevación:

Figura 86

Extracción de valores de elevación a puntos en ArcGIS.

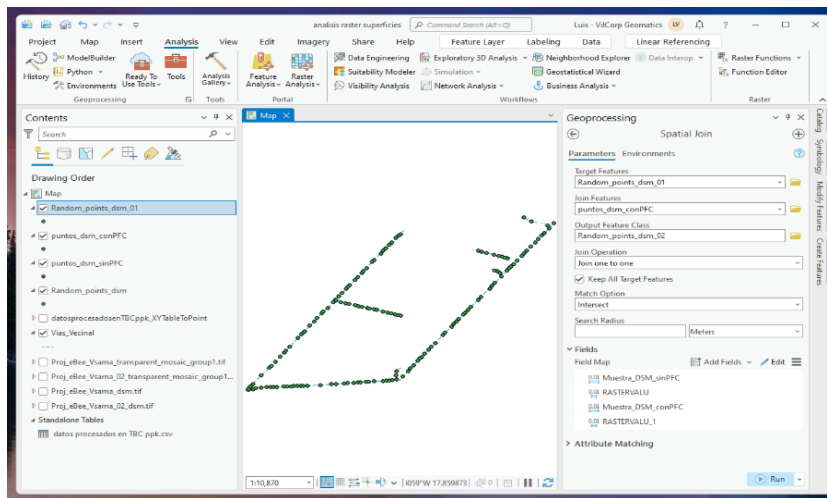


Nota: La figura muestra el uso de la herramienta de geoprocésamiento en ArcGIS para extraer los valores de elevación en cada punto aleatorio. Este proceso se repite en dos ciclos: el primero para extraer los valores del modelo digital de superficie (DSM) sin puntos de fotocontrol, y el segundo para extraer los valores del DSM con puntos de fotocontrol.

Integración y Edición de Datos:

Figura 87

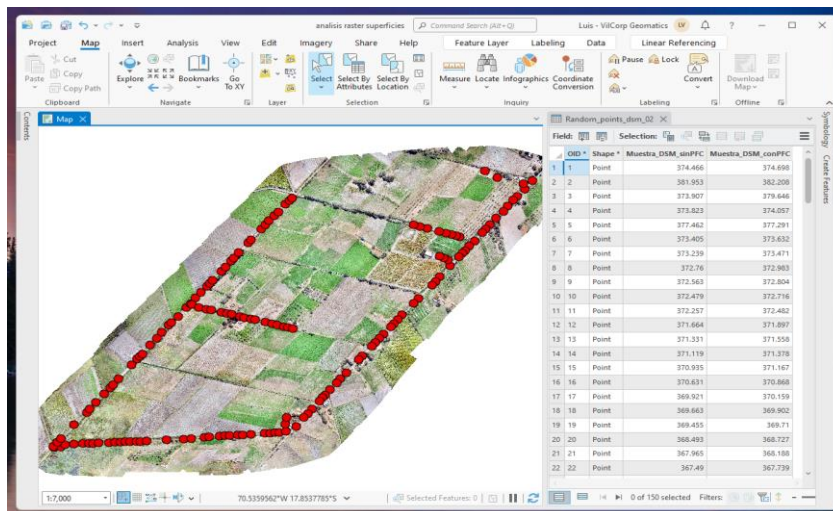
Unión espacial por intersección en ArcGIS.



Nota: La figura muestra el uso de la herramienta de geoprocésamiento en ArcGIS para realizar una unión espacial por intersección. Este proceso integra ambos productos (DSM con y sin puntos de fotocontrol) y conserva los valores de elevación extraídos de cada uno.

Figura 88

Organización de datos de elevación en ArcGIS.

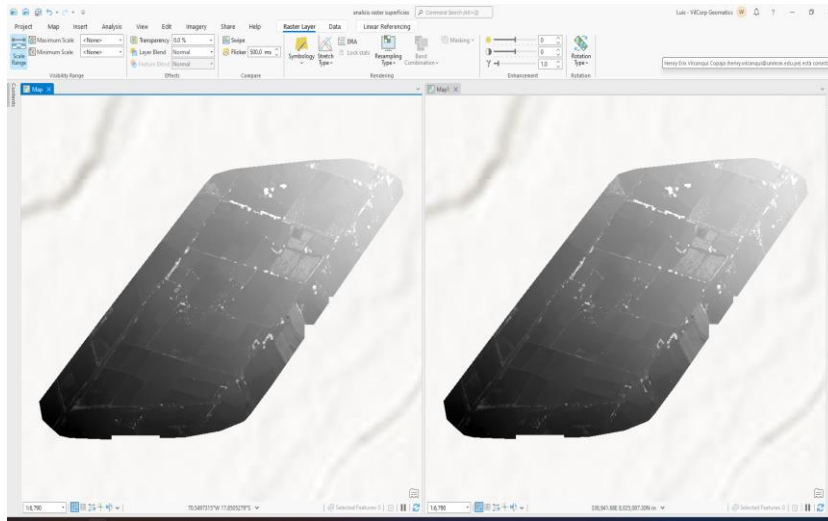


Nota: La figura muestra el resultado del trabajo de edición de tablas en ArcGIS, donde se eliminaron las columnas residuales y se organizaron los datos obtenidos. La tabla final presenta 150 puntos aleatorios, cada uno con dos valores de elevación extraídos de los modelos digitales de superficie (DSM) con y sin puntos de fotocontrol.

Comparación de Modelos de Superficie:

Figura 89

Comparación visual de ambos modelos digitales de superficie (DSM).



Nota: La figura presenta una comparación visual de dos modelos digitales de superficie (DSM) generados con y sin puntos de fotocontrol. A simple vista, no se observan cambios notables en los detalles de los modelos, lo cual será un aspecto central en el análisis estadístico posterior de los datos extraídos.

3.5.3.1 Medición del Desplazamiento Vertical

Análisis del Desplazamiento:

Tabla 5

Comparación de Elevaciones: DSM sin PFC vs. DSM con PFC

Punto aleatorio	Muestra_DSM_ sinPFC	Muestra_DSM_ conPFC	Diferencia (en metros)	Diferencia (en centímetros)
1	374.466	374.698	0.232	23.2
2	381.953	382.208	0.255	25.5
3	373.907	379.646	5.739	573.9
4	373.823	374.057	0.234	23.4
5	377.462	377.291	0.171	17.1
6	373.405	373.632	0.227	22.7
7	373.239	373.471	0.232	23.2
8	372.76	372.983	0.223	22.3



Punto aleatorio	Muestra_DSM_ sinPFC	Muestra_DSM_ conPFC	Diferencia (en metros)	Diferencia (en centímetros)
9	372.563	372.804	0.241	24.1
10	372.479	372.716	0.237	23.7
11	372.257	372.482	0.225	22.5
12	371.664	371.897	0.233	23.3
13	371.331	371.558	0.227	22.7
14	371.119	371.378	0.259	25.9
15	370.935	371.167	0.232	23.2
16	370.631	370.868	0.237	23.7
17	369.921	370.159	0.238	23.8
18	369.663	369.902	0.239	23.9
19	369.455	369.71	0.255	25.5
20	368.493	368.727	0.234	23.4
21	367.965	368.188	0.223	22.3
22	367.49	367.739	0.249	24.9
23	367.298	367.516	0.218	21.8
24	367.194	367.42	0.226	22.6
25	367.013	367.25	0.237	23.7
26	366.57	366.792	0.222	22.2
27	366.332	366.558	0.226	22.6
28	366.052	366.271	0.219	21.9
29	365.761	365.989	0.228	22.8
30	365.238	365.426	0.188	18.8
31	365.033	365.272	0.239	23.9
32	364.269	364.521	0.252	25.2
33	363.944	364.162	0.218	21.8
34	363.846	364.052	0.206	20.6
35	363.704	363.916	0.212	21.2
36	363.444	363.674	0.230	23.0
37	363.19	363.412	0.222	22.2
38	362.966	363.189	0.223	22.3
39	362.511	362.71	0.199	19.9



Punto aleatorio	Muestra_DSM_ sinPFC	Muestra_DSM_ conPFC	Diferencia (en metros)	Diferencia (en centímetros)
40	362.179	362.415	0.236	23.6
41	361.9	362.143	0.243	24.3
42	361.284	361.522	0.238	23.8
43	355.79	356.031	0.241	24.1
44	355.911	356.162	0.251	25.1
45	356.257	356.495	0.238	23.8
46	356.38	356.618	0.238	23.8
47	356.423	356.667	0.244	24.4
48	356.551	356.795	0.244	24.4
49	356.736	356.999	0.263	26.3
50	356.85	357.078	0.228	22.8
51	357.146	357.371	0.225	22.5
52	357.346	357.585	0.239	23.9
53	357.506	357.741	0.235	23.5
54	357.597	357.836	0.239	23.9
55	357.851	358.09	0.239	23.9
56	358.055	358.289	0.234	23.4
57	358.184	358.414	0.230	23.0
58	358.146	358.376	0.230	23.0
59	358.68	358.901	0.221	22.1
60	358.842	359.077	0.235	23.5
61	359.158	359.391	0.233	23.3
62	359.211	359.45	0.239	23.9
63	359.244	359.476	0.232	23.2
64	359.333	359.565	0.232	23.2
65	359.386	359.622	0.236	23.6
66	359.432	359.668	0.236	23.6
67	359.648	359.897	0.249	24.9
68	359.704	359.955	0.251	25.1
69	359.84	360.076	0.236	23.6
70	360.149	360.393	0.244	24.4



Punto aleatorio	Muestra_DSM_ sinPFC	Muestra_DSM_ conPFC	Diferencia (en metros)	Diferencia (en centímetros)
71	360.243	360.49	0.247	24.7
72	360.401	360.648	0.247	24.7
73	360.45	360.695	0.245	24.5
74	360.907	361.146	0.239	23.9
75	360.948	361.178	0.230	23.0
76	361.196	361.437	0.241	24.1
77	356.027	356.269	0.242	24.2
78	356.335	356.589	0.254	25.4
79	356.563	356.819	0.256	25.6
80	357.188	357.422	0.234	23.4
81	358.001	358.236	0.235	23.5
82	358.135	358.361	0.226	22.6
83	358.462	358.692	0.230	23.0
84	358.76	358.985	0.225	22.5
85	359.14	359.345	0.205	20.5
86	359.328	359.534	0.206	20.6
87	359.458	359.682	0.224	22.4
88	360.321	360.552	0.231	23.1
89	360.623	360.851	0.228	22.8
90	360.734	360.971	0.237	23.7
91	360.855	361.082	0.227	22.7
92	361.253	361.471	0.218	21.8
93	361.563	361.784	0.221	22.1
94	361.752	361.972	0.220	22.0
95	362.068	362.278	0.210	21.0
96	362.184	362.396	0.212	21.2
97	362.554	362.78	0.226	22.6
98	363.096	363.334	0.238	23.8
99	363.365	363.59	0.225	22.5
100	363.574	363.795	0.221	22.1
101	363.958	364.19	0.232	23.2



Punto aleatorio	Muestra_DSM_ sinPFC	Muestra_DSM_ conPFC	Diferencia (en metros)	Diferencia (en centímetros)
102	364.198	364.427	0.229	22.9
103	364.312	364.544	0.232	23.2
104	364.604	364.836	0.232	23.2
105	364.938	365.175	0.237	23.7
106	364.901	365.133	0.232	23.2
107	364.99	365.209	0.219	21.9
108	365.31	365.534	0.224	22.4
109	365.855	366.081	0.226	22.6
110	365.915	366.145	0.230	23.0
111	366.036	366.273	0.237	23.7
112	366.411	366.64	0.229	22.9
113	366.618	366.844	0.226	22.6
114	366.738	366.973	0.235	23.5
115	366.862	367.1	0.238	23.8
116	366.93	367.168	0.238	23.8
117	367.157	367.394	0.237	23.7
118	367.393	367.605	0.212	21.2
119	367.804	368.04	0.236	23.6
120	363.36	363.568	0.208	20.8
121	363.449	363.684	0.235	23.5
122	363.611	363.84	0.229	22.9
123	363.707	363.942	0.235	23.5
124	363.919	364.153	0.234	23.4
125	363.934	364.169	0.235	23.5
126	363.881	364.114	0.233	23.3
127	364.09	364.281	0.191	19.1
128	364.016	364.252	0.236	23.6
129	364.013	364.253	0.240	24.0
130	364.021	364.254	0.233	23.3
131	364.261	364.472	0.211	21.1
132	364.305	364.535	0.230	23.0



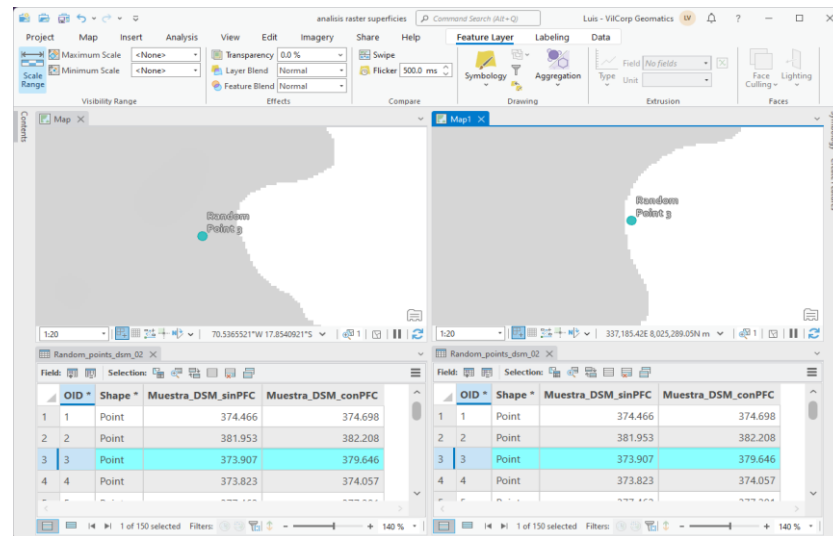
Punto aleatorio	Muestra_DSM_ sinPFC	Muestra_DSM_ conPFC	Diferencia (en metros)	Diferencia (en centímetros)
133	364.524	364.757	0.233	23.3
134	364.725	364.956	0.231	23.1
135	364.69	364.929	0.239	23.9
136	364.955	365.18	0.225	22.5
137	370.608	370.848	0.240	24.0
138	370.532	370.767	0.235	23.5
139	370.474	370.72	0.246	24.6
140	371.83	372.077	0.247	24.7
141	371.815	372.057	0.242	24.2
142	371.67	371.919	0.249	24.9
143	371.619	371.867	0.248	24.8
144	371.506	371.747	0.241	24.1
145	371.3	371.544	0.244	24.4
146	370.984	371.217	0.233	23.3
147	370.94	371.164	0.224	22.4
148	374.481	374.727	0.246	24.6
149	373.802	374.016	0.214	21.4
150	373.568	373.8	0.232	23.2

Nota: La tabla presenta los valores de elevación obtenidos en dos modelos digitales de superficie (DSM) para 150 puntos aleatorios, uno generado sin puntos de fotocontrol (PFC) y otro con PFC. Las diferencias en elevación se expresan tanto en metros como en centímetros, mostrando la precisión relativa entre ambos modelos. Fuente: Elaboración propia.

Revisión de Anomalías:

Figura 90

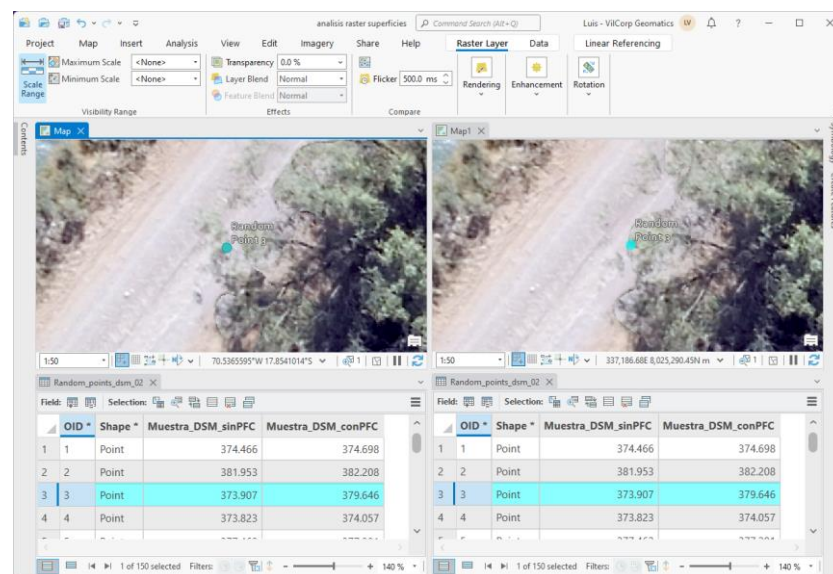
Análisis del punto aleatorio 3 en ArcGIS Pro.



Nota: La figura muestra el análisis del punto aleatorio número 3 en ArcGIS Pro, donde se observa una diferencia atípica de 573.9cm en la elevación entre el DSM sin puntos de fotocontrol (PFC) y el DSM con PFC. Este punto presenta un aparente desplazamiento que podría explicar la discrepancia significativa en comparación con los demás puntos, lo cual se visualiza en ambas ventanas de la herramienta GIS.

Figura 91

Desplazamiento en el DSM con respecto al punto aleatorio en ArcGIS Pro.





Nota: La figura muestra un análisis en ArcGIS Pro donde se observa un desplazamiento en el DSM generado en relación con el punto aleatorio (Random Point 3) ubicado sobre las líneas en el ortomosaico. Este desplazamiento es evidente y podría influir en la precisión de los datos geospaciales, sugiriendo que el ortomosaico también reflejará esta discrepancia.

Evaluación Estadística:

- Para los otros 149 puntos, las diferencias varían entre 17.1 cm y 26.3 cm, con un promedio de 23.2 cm.
- Estos resultados son preparados para una prueba estadística que determine si las diferencias son significativas.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 RESULTADOS PARA EL PRIMER OBJETIVO

Tabla 6

Coordenadas obtenidas con el receptor GNSS.

N°	C_Este	C_Norte	Descripción
01	337229.851	8025339.724	pc01
02	336932.242	8024989.696	pc02
03	336579.673	8024570.783	pc03
04	335940.763	8024527.858	pc04
05	336258.829	8024905.763	pc05
06	336589.289	8025298.016	pc06

Nota: En la presente tabla se presentan las coordenadas Norte y Este adquiridas a través del receptor GNSS.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7

Coordenadas obtenidas manualmente con ArcGispro.

N°	Este	Norte	Descripción
01	337229.830	8025339.702	M_pc01
02	336932.236	8024989.662	M_pc02
03	336579.689	8024570.734	M_pc03
04	335940.744	8024527.838	M_pc04
05	336258.812	8024905.752	M_pc05
06	336589.267	8025298.014	M_pc06



Nota: Esta tabla muestra las coordenadas obtenidas de forma manual, las cuales fueron marcadas manualmente en el programa ArcGIS Pro. Fuente: Elaboración propia.

4.1.1 Diferencia y desplazamiento de las coordenadas.

Comparación de los desplazamientos de las coordenadas del receptor GNSS y las coordenadas obtenidas mediante el software ArcGIS Pro.

Tabla 8

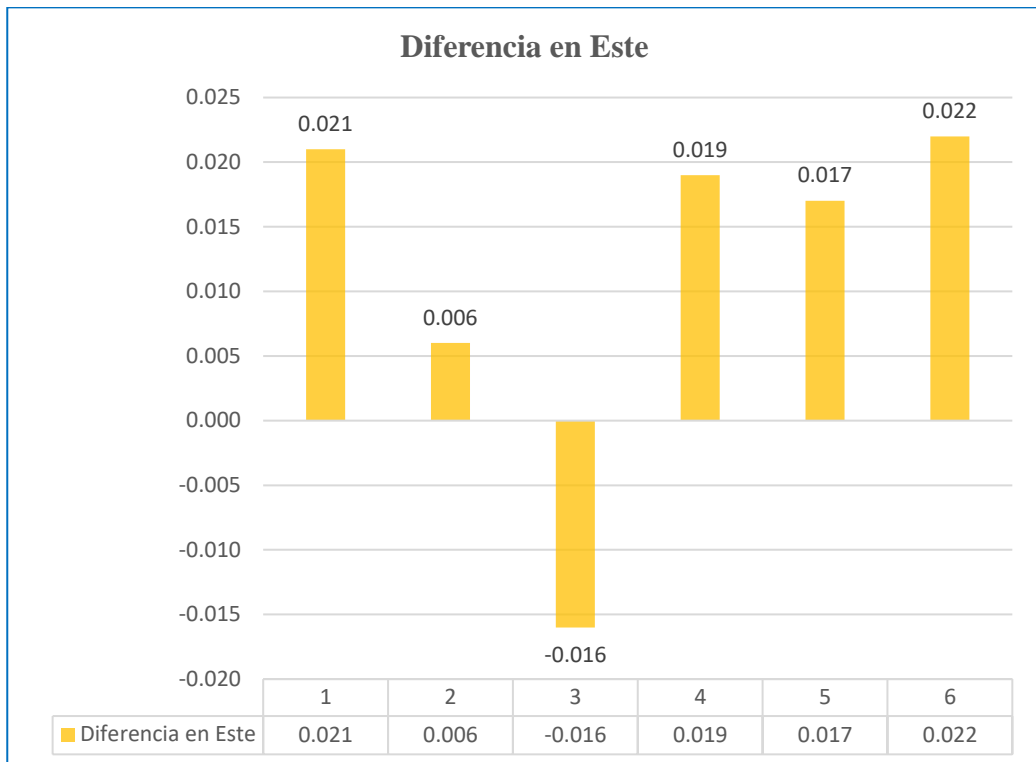
Diferencia de desplazamiento en Norte y Este.

N°	Diferencia C Este	Diferencia C norte	Distancia horizontal (en metros)	Distancia horizontal (en centímetros)
01	0.021	0.022	0.030413813	3.0
02	0.006	0.034	0.034525354	3.5
03	-0.016	0.049	0.051546096	5.2
04	0.019	0.020	0.027586228	2.8
05	0.017	0.011	0.020248457	2.0
06	0.022	0.002	0.022090722	2.2

Nota: La presente tabla exhibe la diferencia de desplazamiento de coordenadas Este y Norte.
Fuente: Elaboración propia.

Figura 92

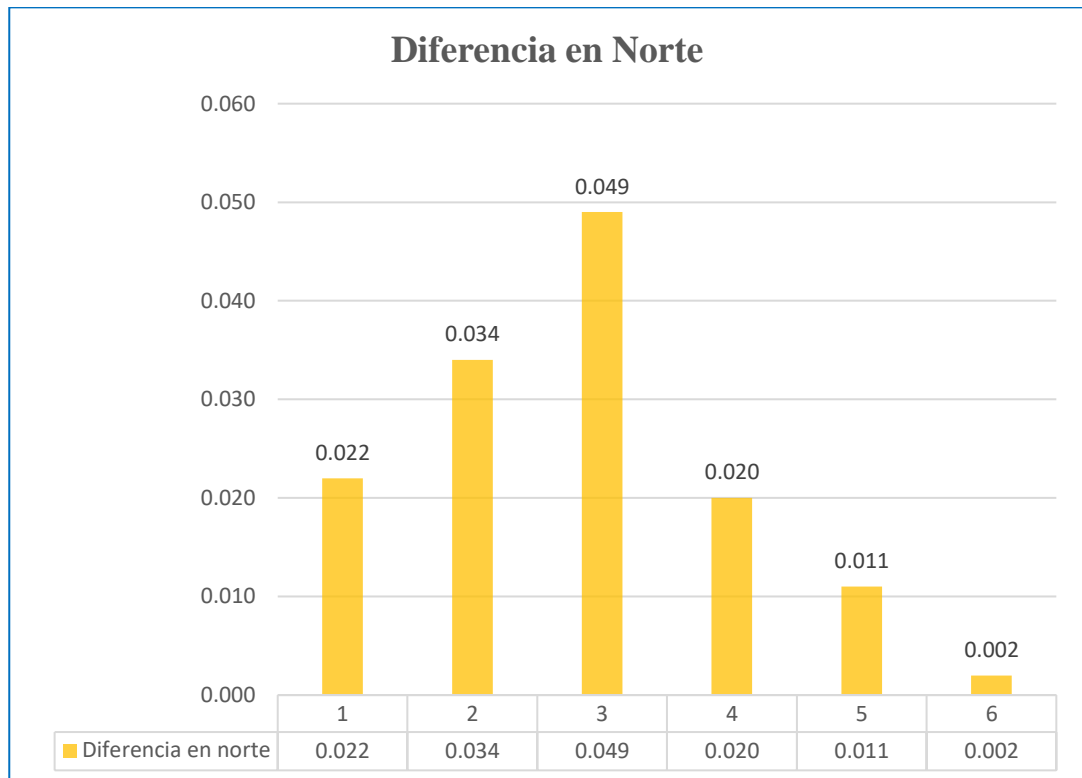
Desplazamiento de coordenadas en este.



Nota: Este gráfico muestra los desplazamientos en las coordenadas Este, obtenidos mediante GNSS (método directo) y aquellos calculados manualmente utilizando ArcGIS Pro (método indirecto). Fuente: Elaboración propia.

Figura 93

Desplazamiento de coordenadas en norte.



Nota: Este gráfico muestra los desplazamientos en las coordenadas Norte, obtenidos mediante GNSS (método directo) y aquellos calculados manualmente utilizando ArcGIS Pro (método indirecto). Fuente: Elaboración propia.

4.2 RESULTADOS PARA EL SEGUNDO OBJETIVO

Tabla 9

Cotas de Muestra_DSM_sinPFC y Muestra_DSM_conPFC.

Punto aleatorio	Muestra_DSM_sin PFC	Muestra_DSM_con PFC	Diferencia (en metros)	Diferencia (en centímetros)
1	374.466	374.698	0.232	23.2
2	381.953	382.208	0.255	25.5
3	373.907	379.646	5.739	573.9
4	373.823	374.057	0.234	23.4
5	377.462	377.291	0.171	17.1
6	373.405	373.632	0.227	22.7



Punto aleatorio	Muestra_DSM_sin PFC	Muestra_DSM_con PFC	Diferencia (en metros)	Diferencia (en centímetros)
7	373.239	373.471	0.232	23.2
8	372.76	372.983	0.223	22.3
9	372.563	372.804	0.241	24.1
10	372.479	372.716	0.237	23.7
11	372.257	372.482	0.225	22.5
12	371.664	371.897	0.233	23.3
13	371.331	371.558	0.227	22.7
14	371.119	371.378	0.259	25.9
15	370.935	371.167	0.232	23.2
16	370.631	370.868	0.237	23.7
17	369.921	370.159	0.238	23.8
18	369.663	369.902	0.239	23.9
19	369.455	369.71	0.255	25.5
20	368.493	368.727	0.234	23.4
21	367.965	368.188	0.223	22.3
22	367.49	367.739	0.249	24.9
23	367.298	367.516	0.218	21.8
24	367.194	367.42	0.226	22.6
25	367.013	367.25	0.237	23.7
26	366.57	366.792	0.222	22.2
27	366.332	366.558	0.226	22.6
28	366.052	366.271	0.219	21.9
29	365.761	365.989	0.228	22.8
30	365.238	365.426	0.188	18.8
31	365.033	365.272	0.239	23.9
32	364.269	364.521	0.252	25.2
33	363.944	364.162	0.218	21.8
34	363.846	364.052	0.206	20.6
35	363.704	363.916	0.212	21.2
36	363.444	363.674	0.230	23.0
37	363.19	363.412	0.222	22.2



Punto aleatorio	Muestra_DSM_sin PFC	Muestra_DSM_con PFC	Diferencia (en metros)	Diferencia (en centímetros)
38	362.966	363.189	0.223	22.3
39	362.511	362.71	0.199	19.9
40	362.179	362.415	0.236	23.6
41	361.9	362.143	0.243	24.3
42	361.284	361.522	0.238	23.8
43	355.79	356.031	0.241	24.1
44	355.911	356.162	0.251	25.1
45	356.257	356.495	0.238	23.8
46	356.38	356.618	0.238	23.8
47	356.423	356.667	0.244	24.4
48	356.551	356.795	0.244	24.4
49	356.736	356.999	0.263	26.3
50	356.85	357.078	0.228	22.8
51	357.146	357.371	0.225	22.5
52	357.346	357.585	0.239	23.9
53	357.506	357.741	0.235	23.5
54	357.597	357.836	0.239	23.9
55	357.851	358.09	0.239	23.9
56	358.055	358.289	0.234	23.4
57	358.184	358.414	0.230	23.0
58	358.146	358.376	0.230	23.0
59	358.68	358.901	0.221	22.1
60	358.842	359.077	0.235	23.5
61	359.158	359.391	0.233	23.3
62	359.211	359.45	0.239	23.9
63	359.244	359.476	0.232	23.2
64	359.333	359.565	0.232	23.2
65	359.386	359.622	0.236	23.6
66	359.432	359.668	0.236	23.6
67	359.648	359.897	0.249	24.9
68	359.704	359.955	0.251	25.1



Punto aleatorio	Muestra_DSM_sin PFC	Muestra_DSM_con PFC	Diferencia (en metros)	Diferencia (en centímetros)
69	359.84	360.076	0.236	23.6
70	360.149	360.393	0.244	24.4
71	360.243	360.49	0.247	24.7
72	360.401	360.648	0.247	24.7
73	360.45	360.695	0.245	24.5
74	360.907	361.146	0.239	23.9
75	360.948	361.178	0.230	23.0
76	361.196	361.437	0.241	24.1
77	356.027	356.269	0.242	24.2
78	356.335	356.589	0.254	25.4
79	356.563	356.819	0.256	25.6
80	357.188	357.422	0.234	23.4
81	358.001	358.236	0.235	23.5
82	358.135	358.361	0.226	22.6
83	358.462	358.692	0.230	23.0
84	358.76	358.985	0.225	22.5
85	359.14	359.345	0.205	20.5
86	359.328	359.534	0.206	20.6
87	359.458	359.682	0.224	22.4
88	360.321	360.552	0.231	23.1
89	360.623	360.851	0.228	22.8
90	360.734	360.971	0.237	23.7
91	360.855	361.082	0.227	22.7
92	361.253	361.471	0.218	21.8
93	361.563	361.784	0.221	22.1
94	361.752	361.972	0.220	22.0
95	362.068	362.278	0.210	21.0
96	362.184	362.396	0.212	21.2
97	362.554	362.78	0.226	22.6
98	363.096	363.334	0.238	23.8
99	363.365	363.59	0.225	22.5



Punto aleatorio	Muestra_DSM_sin PFC	Muestra_DSM_con PFC	Diferencia (en metros)	Diferencia (en centímetros)
100	363.574	363.795	0.221	22.1
101	363.958	364.19	0.232	23.2
102	364.198	364.427	0.229	22.9
103	364.312	364.544	0.232	23.2
104	364.604	364.836	0.232	23.2
105	364.938	365.175	0.237	23.7
106	364.901	365.133	0.232	23.2
107	364.99	365.209	0.219	21.9
108	365.31	365.534	0.224	22.4
109	365.855	366.081	0.226	22.6
110	365.915	366.145	0.230	23.0
111	366.036	366.273	0.237	23.7
112	366.411	366.64	0.229	22.9
113	366.618	366.844	0.226	22.6
114	366.738	366.973	0.235	23.5
115	366.862	367.1	0.238	23.8
116	366.93	367.168	0.238	23.8
117	367.157	367.394	0.237	23.7
118	367.393	367.605	0.212	21.2
119	367.804	368.04	0.236	23.6
120	363.36	363.568	0.208	20.8
121	363.449	363.684	0.235	23.5
122	363.611	363.84	0.229	22.9
123	363.707	363.942	0.235	23.5
124	363.919	364.153	0.234	23.4
125	363.934	364.169	0.235	23.5
126	363.881	364.114	0.233	23.3
127	364.09	364.281	0.191	19.1
128	364.016	364.252	0.236	23.6
129	364.013	364.253	0.240	24.0
130	364.021	364.254	0.233	23.3

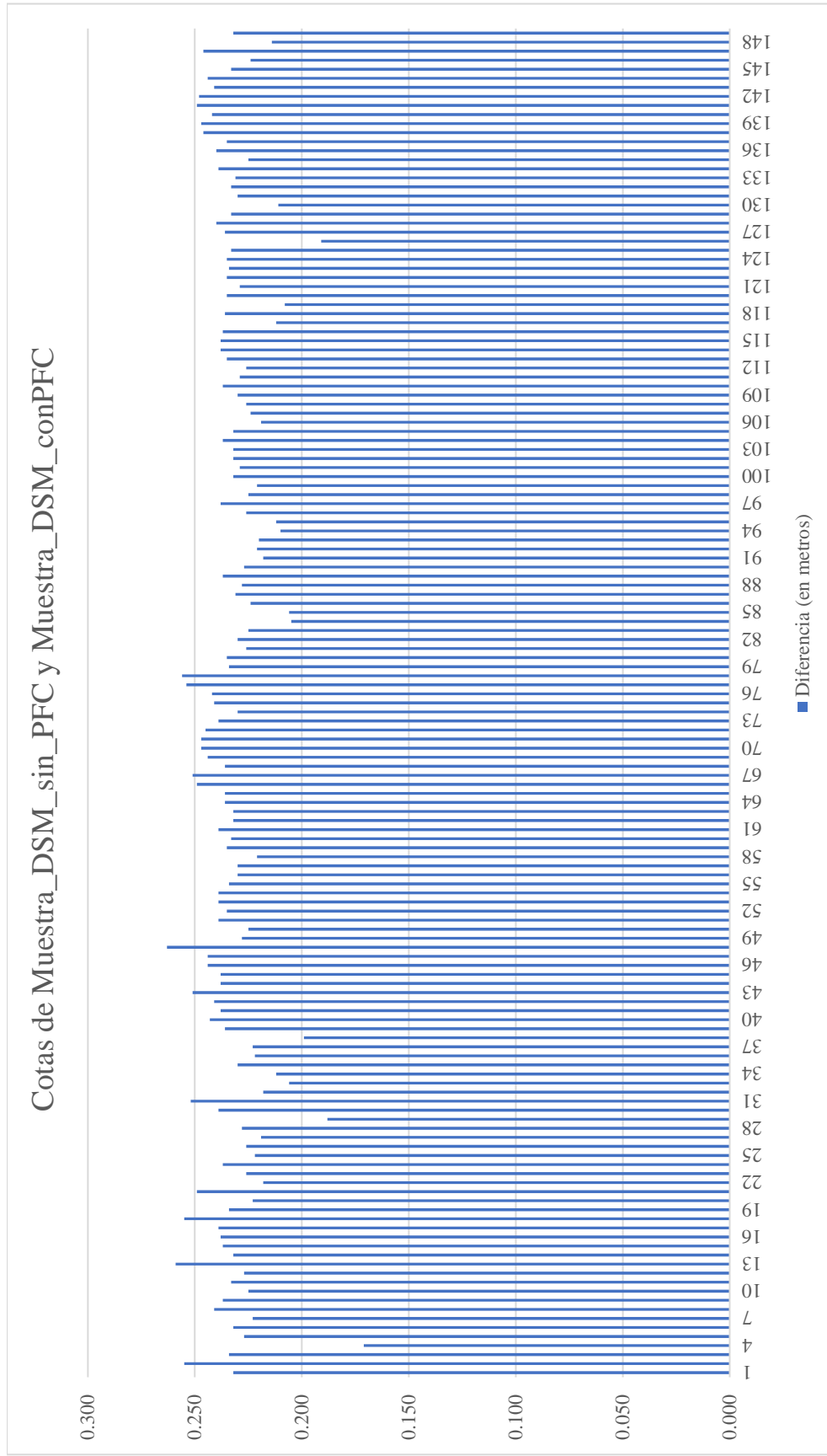


Punto aleatorio	Muestra_DSM_sin PFC	Muestra_DSM_con PFC	Diferencia (en metros)	Diferencia (en centímetros)
131	364.261	364.472	0.211	21.1
132	364.305	364.535	0.230	23.0
133	364.524	364.757	0.233	23.3
134	364.725	364.956	0.231	23.1
135	364.69	364.929	0.239	23.9
136	364.955	365.18	0.225	22.5
137	370.608	370.848	0.240	24.0
138	370.532	370.767	0.235	23.5
139	370.474	370.72	0.246	24.6
140	371.83	372.077	0.247	24.7
141	371.815	372.057	0.242	24.2
142	371.67	371.919	0.249	24.9
143	371.619	371.867	0.248	24.8
144	371.506	371.747	0.241	24.1
145	371.3	371.544	0.244	24.4
146	370.984	371.217	0.233	23.3
147	370.94	371.164	0.224	22.4
148	374.481	374.727	0.246	24.6
149	373.802	374.016	0.214	21.4
150	373.568	373.8	0.232	23.2

Nota: La presente tabla exhibe las cotas y diferencia de desplazamiento. Fuente: (Elaboración propia)

Figura 94

Diferencia entre Muestra_DSM_sin_PFC y Muestra_DSM_conPFC



Nota: Grafico que muestra las cotas entre Muestra_DSM_sin_PFC y Muestra_DSM_conPFC

4.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO Y PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA EL PRIMER OBJETIVO ESPECÍFICO

4.3.1 Análisis estadístico para las coordenadas Este

4.3.1.1 Plantear la hipótesis

H₀= No existe una diferencia significativa en la precisión absoluta georreferenciada del ortomosaico generado con RPAS eBee X PPK para las coordenadas este.

H₁= Existe una diferencia significativa en la precisión absoluta georreferenciada del ortomosaico generado con RPAS eBee X PPK para las coordenadas este.

4.3.1.2 Establecer el nivel de significancia

Nivel de significancia de esta investigación (alfa) $\alpha=5\%$

4.3.1.3 Prueba de Normalidad

Figura 95

Prueba de normalidad.

	Pruebas de normalidad					
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Este_Método_Indirecto_Manualmente	,166	6	,200*	,981	6	,957
Este_Método_Directo_GNSS	,166	6	,200*	,981	6	,957

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.
a. Corrección de significación de Lilliefors

Nota. Dado que el tamaño de la muestra es inferior a 50, se ha empleado la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk. Fuente: Elaboración propia con software IBM SPSS.

El resultado obtenido muestra un valor de **significancia de 0.957**, el cual es superior al umbral de **0.05**. Esto indica que no existe evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula de normalidad en las muestras generados con RPAS eBexx (Método Indirecto) y GNSS (Método Directo). En consecuencia, se puede concluir que los datos siguen una **distribución normal**.

4.3.1.4 Prueba estadística

Para esta investigación, se utilizará la prueba estadística de **T de Student**. Esta prueba es esencial para comparar las medias de dos grupos y determinar si las diferencias observadas son estadísticamente significativas.

4.3.1.5 Criterio de decisión

Figura 96

Prueba de T Student.

Prueba de muestras independientes											
		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						95% de intervalo de confianza de la diferencia	
		F	Sig.	t	gl.	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	Inferior	Superior	
Datos_General_Este	Se asumen varianzas iguales	,000	1,000	,000	10	1,000	-,01150	265,55810	-591,71183	591,68883	
	No se asumen varianzas iguales			,000	10,000	1,000	-,01150	265,55810	-591,71183	591,68883	

Nota: Esta figura muestra los valores de la prueba estadística T Student, para las coordenadas este.
Fuente: Elaboración propia con software IBM SPSS.

El valor de significancia bilateral es 1.000, muy superior a 0.05, lo que indica que no hay evidencia para rechazar la hipótesis nula de igualdad de medias entre los dos grupos comparados. La diferencia de medias es mínima (-0.01150), y el intervalo de confianza del 95% incluye el valor cero (-



591.71183 a 591.68883), lo que refuerza la conclusión de que **no existe una diferencia significativa** entre las medias de los dos grupos.

4.3.1.6 Conclusiones

No existe una diferencia significativa en la precisión absoluta georreferenciada del ortomosaico generado con RPAS eBee X PPK para las coordenadas este.

4.3.2 Análisis estadístico para las coordenadas Norte

4.3.2.1 Plantear la hipótesis

H_0 = No existe una diferencia significativa en la precisión absoluta georreferenciada del ortomosaico generado con RPAS eBee X PPK para las coordenadas norte.

H_1 = Existe una diferencia significativa en la precisión absoluta georreferenciada del ortomosaico generado con RPAS eBee X PPK para las coordenadas norte.

4.3.2.2 Establecer el nivel de significancia

Nivel de significancia de esta investigación (alfa) $\alpha=5\%$

4.3.2.3 Prueba de Normalidad

Figura 97

Prueba de normalidad.

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Norte_Método_Indirecto_Manualmente	,190	6	,200*	,900	6	,375
Norte_Método_Directo_GNSS	,190	6	,200*	,900	6	,375

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.
a. Corrección de significación de Lilliefors

Nota: Dado que el tamaño de la muestra es inferior a 50, se ha empleado la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk. Fuente: Elaboración propia con software IBM SPSS.

Dado que la muestra es menor de 50, nos enfocamos principalmente en la prueba de Shapiro-Wilk. El valor de significancia (Sig.) para ambas variables es 0.375, que es mayor a 0.05. Esto significa que no hay evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula de que los datos provienen de una **distribución normal**.

4.3.2.4 Prueba estadística

Para esta investigación, se utilizará la prueba estadística de T de Student. Esta prueba es esencial para comparar las medias de dos grupos y determinar si las diferencias observadas son estadísticamente significativas.

4.3.2.5 Criterio de decisión

Figura 98

Prueba de T Student.

Prueba de muestras independientes										
Prueba de Levene de igualdad de varianzas				prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
								Inferior		Superior
Datos General Norte	Se asumen varianzas iguales	,000	1,000	,000	10	1,000	-,02300	199,63017	-444,82673	444,78073
	No se asumen varianzas iguales			,000	10,000	1,000	-,02300	199,63017	-444,82673	444,78073

Nota: Esta figura muestra los valores de la prueba estadística T Student, para las coordenadas Norte.

Fuente: Elaboración propia con software IBM SPSS.

El valor de significancia bilateral de 1.000 sugiere que no hay evidencia para rechazar la hipótesis nula de igualdad de medias entre los dos grupos comparados. La diferencia de medias es muy pequeña (-0.02300), y el intervalo de confianza del 95% incluye el valor cero (-444.82673 a 444.78073), lo que refuerza la conclusión de que no existe una diferencia significativa entre las medias de los dos grupos.

4.3.2.6 Conclusiones

No existe una diferencia significativa en la precisión absoluta georreferenciada del ortomosaico generado con RPAS eBee X PPK para las coordenadas norte.

4.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA EL SEGUNDO OBJETIVO ESPECÍFICO

4.4.1 Análisis estadístico para alturas

4.4.1.1 Plantear la hipótesis

H_0 = No existe una diferencia significativa en el desplazamiento vertical de las coordenadas de los puntos de fotocontrol entre los dos productos raster generados con el RPAS eBee X PPK.

H_1 = Existe una diferencia significativa en el desplazamiento vertical de las coordenadas de los puntos de fotocontrol entre los dos productos raster generados con el RPAS eBee X PPK.

4.4.1.2 Establecer el nivel de significancia

Nivel de significancia de esta investigación (alfa) $\alpha=5\%$

4.4.1.3 Prueba de Normalidad

Figura 99

Prueba de normalidad.

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Muestra_DSM_sinPFC	,075	149	,038	,964	149	,001
Muestra_DSM_conPFC	,075	149	,041	,964	149	,001

a. Corrección de significación de Lilliefors

Nota: Dado que el tamaño de la muestra es mayor a 50, se ha empleado la prueba de normalidad de Kolmogorov Smirnov. Fuente: Elaboración propia con software IBM SPSS.

Los valores de significancia (Sig.) para ambas muestras son menores a 0.05 (0.038 y 0.041 respectivamente), lo que indica que se rechaza la hipótesis nula de normalidad. Esto significa que, según la prueba de Kolmogorov-Smirnov, los datos de Muestra_DSM_sinPFC y Muestra_DSM_conPFC no siguen una distribución normal.

4.4.1.4 Prueba estadística

Dado que las pruebas de normalidad (Kolmogorov-Smirnov) han indicado que los datos no siguen una distribución normal, se optará por utilizar una prueba no paramétrica para comparar las dos muestras. En este caso, se empleará la prueba **U de Mann-Whitney**.

4.4.1.5 Criterio de decisión

Figura 100

Prueba de U de Mann Whitney.

Estadísticos de prueba ^a	
	Tota_DSM
U de Mann-Whitney	10744,000
W de Wilcoxon	21919,000
Z	-,479
Sig. asintótica(bilateral)	,632

a. Variable de agrupación:
Descripcion

Nota: Esta figura muestra los valores de la prueba de U de Mann Whitney, para las coordenadas Norte. Fuente: Elaboración propia con software IBM SPSS.



El valor de significancia de 0.632 es mayor a 0.05, lo cual indica que no hay evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula de que no hay diferencias significativas entre las medianas de los dos grupos. En otras palabras, la prueba U de Mann-Whitney sugiere que no existen diferencias estadísticamente significativas en la variable Total_DSM entre los grupos comparados.

4.4.1.6 Conclusiones

No existe una diferencia significativa en el desplazamiento vertical de las coordenadas de los puntos de fotocontrol entre los dos productos raster generados con el RPAS eBee X PPK.

4.5 DISCUSIONES

4.5.1 Ámbito internacional

Según Zabota & Kobal (2021) que investigó cómo se pueden producir productos fotogramétricos precisos mediante el uso de ajuste de bloques de haz (BBA) sin puntos de control terrestre (GCP), empleando las coordenadas calculadas con posprocesamiento cinemático (PPK); indica que aunque existen diferencias estadísticamente significativas entre la metodología de georreferenciación, el BBA_PPK se presenta como una solución viable para mapear áreas peligrosas y expuestas, especialmente para aplicaciones a nivel regional, ofreciendo una opción menos laboriosa y más segura que los métodos tradicionales.



Sobre lo cual se afirma lo citado y se amplía la aplicación. Es un hecho que el empleo de metodología PPK es una acción permisible y segura para el mapeo de, en el caso de esta tesis; zonas agrícolas y predios rurales. Es una alternativa de menor carga laboral que cubre grandes extensiones de área en menor tiempo.

De acuerdo a Moudry et al. (2018) que analizó los efectos de diferentes plataformas UAV (eBee classic fixed wing y DJI Phantom 4 Advanced) en la calidad de la imagen y en sus productos derivados. Sustenta que el UAV DJI Phantom4 es más práctico para la creación de mapas topográficos de pequeñas áreas debido a su capacidad de producir resultados precisos, su portabilidad, su bajo costo y otras ventajas.

Ante esta afirmación, hay que resaltar que el sistema Phantom 4 no cuenta con un registro GNSS, lo cual hace imprescindible el uso de puntos de fotocontrol, mientras que el sistema eBee tiene posibilidad de realizar registro de datos GNSS en modo PPK.

Tras los resultados obtenidos, se da veracidad a algunas partes de su afirmación, resaltando que el Sistema eBee es almacenado en una maleta rígida de transporte con un peso considerable, y tiene dimensiones que no son cómodas para el transporte dentro de un vehículo personal, además no es un equipo de bajo costo. Sin embargo, se complementa que el Sistema eBee tiene mejor cobertura de área gracias a su peso ligero, resistencia al viento, motor único y batería de buena duración.



4.5.2 **Ámbito nacional**

Llanos Guerrero, (2023) en su investigación titulada “Análisis comparativo de resultados obtenidos de un levantamiento topográfico haciendo uso de drones y método tradicional Trujillo 2021” indica que, aunque la metodología fotogramétrica con drones ofrece un costo reducido, la metodología tradicional sigue siendo superior en términos de precisión y eficiencia temporal para levantamientos topográficos.

Sobre su enunciado se puede agregar que la eficiencia temporal dependerá grandemente de la velocidad del dron y resistencia al viento, por lo cual, el dron eBee X tendría una gran ventaja sobre otros drones, gracias a su diseño de ala fija con un solo rotor trasero, lo que lo hace aerodinámico.

4.5.3 **Ámbito regional**

Citando a Cruz & Rider (2019) que evaluó la precisión de un dron de ala fija en levantamientos catastrales rurales a diferentes alturas de vuelo, resalta que la aeronave no tripulada de ala fija proporciona resultados de precisión confiable en levantamientos catastrales rurales, y concluye que los vuelos fotogramétricos a menor altitud con una aeronave de ala fija ofrecen mayor precisión, especialmente en terrenos con pocas irregularidades.

A lo cual se confirma su enunciado. Es importante resaltar que, mayor altura de vuelo implica que el GSD incremente sus dimensiones, lo que se traduce en productos con menor detalle. Considerando que una marca de PFC sea pintada con líneas de 10 centímetros de ancho, con una misión programada a 2.5 centímetros de GSD, el producto representará el ancho de la línea aproximadamente en 4 píxeles,



pero en una misión programada a 10 centímetros de GSD, la misma línea será representada en un solo pixel, lo que disminuirá la precisión al momento de marcar el centro del punto de fotocontrol.



V. CONCLUSIONES

- Dado el desarrollo de la investigación, se concluye que empleando un RPAS eBee X en modo PPK; un ortomosaico generado sin puntos de fotocontrol sí tiene la misma precisión horizontal que un ortomosaico generado con influencia de ajuste de puntos de fotocontrol; debido a que la prueba estadística demuestra que no existe una diferencia significativa en las coordenadas, tanto en este como en norte. Esto se traduce en que los desplazamientos horizontales sí llegan a ser similares en ambos productos.
- Adicionalmente, Un modelo digital de superficie generado sin puntos de fotocontrol sí tiene la misma precisión vertical que un modelo digital de superficie generado con influencia de ajuste de puntos de fotocontrol. La prueba estadística (U de Mann-Whitney) concluye que el desfase vertical sí tiene suficiente confiabilidad, ya que no existe una diferencia significativa en el desplazamiento vertical de las coordenadas de los puntos de fotocontrol entre los dos productos raster generados con el RPAS eBee X PPK.



VI. RECOMENDACIONES

- En consideración de la normativa del catastro del Sistema Nacional Integrado de Información Catastral Predial – SNCP; y además el conocimiento específico de la Directiva N° 01-2008-SNCP/CNC "Tolerancias Catastrales - Registrales", y con los resultados obtenidos, la precisión horizontal no varía más de 2.5 centímetros en Este y Norte, lo cual, adicionado a las coordenadas de los vértices de un polígono urbano o rural, tanto en casos de exceso de área o disminución de área que podría provocar el desplazamiento de 2.5 centímetros de los vértices del predio; el porcentaje diferenciado no excede de 0.08% del área total.
- Por lo tanto, se recomienda el empleo de este RPAS en el procedimiento de saneamiento físico legal y formalización de predios rústicos de propiedad del estado. en las etapas del diagnóstico físico legal, levantamiento catastral (linderacion de predios), y elaboración de la información gráfica.
- Por otro lado, durante el desarrollo de la investigación el desfase vertical entre productos llegó en promedio a 23 centímetros; y aunque la prueba estadística indique que no existe diferencia significativa en lo datos comparados, no se recomienda el uso de este producto para aplicaciones de ingeniería de alta precisión como: diseño de redes de agua y riego, canales, plantillado de razantes, etc.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bejerano Palomino, 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. *Universidad Privada Antenor Orrego*.
- Carreta, J., Thirtyacre, D., Miller, P., Burgess S., S., & Austin, W. J. (2023). Evaluación de la precisión del eBee mediante métodos de corrección RTK y PPK en función de la distancia a una estación base GNSS. *Revista internacional de aviación, aeronáutica y aeroespacial*. doi:<https://doi.org/10.58940/2374-6793.1819>
- Casaperalta Suarez, C. B. (2021). Generación De Catastro Territorial Utilizando Fotogrametría Y Cartografía Básica En El Distrito De Cerro Colorado-Arequipa. *Universidad Nacional Federico Villarreal*. Obtenido de <http://repositorio.unfv.edu.pe/handle/UNFV/5408>
- CropLife Latin America. (enero de 2021). *CropLife Latin America*. Obtenido de CropLife Latin America: <https://www.croplifela.org/es/actualidad/uso-de-drones-en-la-agricultura>
- Cruz Chique, A. W., & Rider Rugguieri, R. C. (2019). Precisión de una aeronave no tripulada de ala fija en un levantamiento catastral rural a diferentes alturas de vuelo en contrastación con G.P.S. diferencial en modo RTK. *Universidad Nacional del Altiplano*. Obtenido de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/12120>
- Cruz, A. W., & Ramos, R. R. (2019).). Precisión De Una Aeronave No Tripulada De Ala Fija En Un Levantamiento Catastral Rural a Diferentes Alturas De Vuelo En Contrastación Con G.P.S. Diferencial En Modo Rtk. *Universidad Nacional del Altiplano*. Obtenido de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/12120>
- Davalos, G. P. (s.f.). *Aeorofotgrametris inteligente AFI*.



- Del Rio, O., Espinoza, T., Sáenz, A., & Córtes, F. (2019). Levantamientos topográficos con drones. *Ciencia, Ingeniería y Desarrollo Tec Lerdo*. Obtenido de <http://revistacid.itslerdo.edu.mx/coninci2019/CID012.pdf>
- Diego, C. (2020). Contraste metodológico en los MDT realizados. *Universidad de Cantabria*.
- Felicísimo, A. M. (1994). *Introducción de los Modelos Digitales del Terreno*. Obtenido de <http://www.etsimo.uniovi.es/feli>
- Fuentes Delgado, J. E. (2012). Modelo digital de superficie a partir de imágenes de satélite ikonos para el análisis de áreas de inundación en Santa Marta. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*.
- Gauci, A. A., Brodbeck, C. J., & Poncet, A. M. (2018). Evaluación de la precisión geoespacial de imágenes aéreas obtenidas con diversas plataformas UAS. *Transactions of the ASABE*. doi:10.13031/trans.12852
- Guerrero S., F. M., & Carrión, R. (2018). Aplicación de fotogrametría y modelación 3d en geología y minería; el granito de Cufre. *DINAMIGE - MIEM*. Obtenido de https://www.gub.uy/ministerio-industria-energia-mineria/sites/ministerioindustria-ministerioindustria-mineria/y_modelacion_3d_en_geologia_y_mineria_el_granito_de_cufre_0.pdf
- Linder, W. (2006). Digital photogrammetric a practical course. *Berlín Heidelberg*, 219.
- Llanos Guerrero, J. J. (2023). Análisis comparativo de resultados obtenidos de un levantamiento topográfico haciendo uso de drones y método tradicional Trujillo 2021. *Universidad Privada del Norte*.
- Lopez, S. (1996). *Topografía*. Mundi-Prensa.
- Mamani Cueva, E. R., & Quispe Ramos, E. M. (2024). Análisis de levantamiento catastral GNSS método RTK y comparación con la base gráfica del SCR en la zona rural del distrito de Taraco, Provincia de Huancané, Departamento de Puno 2023. *Universidad Nacional del Altiplano*.



- Matías, R. (2020). Aplicación de un dron para mejorar los procesos productivos en Minera Chinalco Perú SA, Morococha 2020. *Universidad Continental*. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12394/8698>
- Mendoza Dueñas, J. (2015). *Topografía técnicas modernas*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Mendoza Dueñas, J. (2020). *Topografía y Geodesia*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Mendoza Romero, D. E. (2019). Evaluación de la precisión planimétrica y altimétrica en un levantamiento fotogramétrico realizado por una aeronave pilotada remotamente. *Universidad Nacional de Ingeniería*.
- Moudry, V., Urbano, R., Štroner, M., Komárek, J., Brouček, J., & Prošek, J. (2018). Comparación de un UAV de ala fija comercial y uno de ensamblaje casero para el mapeo del terreno de un sitio post-minería en condiciones de desprendimiento de hojas. *International Journal of Remote Sensing*.
doi:<https://doi.org/10.1080/01431161.2018.1516311>
- Ordoñez Avendaño, J. R., & Condori Mamani, G. N. (2022). Análisis de la precisión de un levantamiento topográfico utilizando fotogrametría con RPAS y su relación a la densidad de puntos de control terrestre. *Universidad Nacional del Altiplano*.
- Ortega, L., & Torres, M. (2019). Error, incertidumbre, precisión y exactitud, en levantamiento Aerofotogramétrico. Caso de estudio catastro de la parroquia San Carlos del cantón Naranjal. *Universidad de Cuenca*.
- Pachas Linares, R. (2009). *El Levantamiento Topográfico: Uso De Gps Y Estación Total*. Trujillo: Universidad de Los Andes. Obtenido de <http://www.saber.ula.ve/bitstream/handle/123456789/30397/articulo3.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Pari Rendon, R. W., & Sedano Mateo, F. D. (s.f.).



- Pedraza, A. (2019). Análisis comparativo del levantamiento topográfico tradicional y el o topográfico con RPAS en la Huaca Aznapuquio, Los Olivos 2019. *Universidad César Vallejo*.
- Peña, J.M., & de Castro, A.I. (noviembre de 2023). *Phytoma*. Obtenido de Phytoma: <https://www.phytoma.com/la-revista/phytohemeroteca/353-noviembre-2023/los-drones-agricolas-un-aliado-para-la-toma-de-decisiones-y-el-manejo-del-cultivo-en-sanidad-vegetal>
- Petrucci, D., & Cruz, J. (2014). Física. Obtenido de <https://doi.org/https://www.fcnym.unlp.edu.ar>
- Pix4D. (2021). oftware Pix4D. *Pagina Web*. Obtenido de <https://www.pix4d.com/es>
- Quirós Rosado, E. (2014). *ión a la Fotogrametría y Cartografía aplicadas a la Ingeniería Civil*.
- Ruales, D. (2018). Pertinencia del uso de drones en la caracterización geo espacial del módulo dos junta de agua de riego de la comuna Morlán, Imbabura. *Universidad Tecnica del Norte*. doi:<http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/7880>
- Sanchez, I. (2017). Determinar el grado de confiabilidad del levantamiento topografico con Dron en la Plaza San Luis 2017. *Universidad Cesar Vallejo*. Obtenido de https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/12246/sanchez_vi.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Tacca Quelca, H. (2015). Comparación de resultados obtenidos de un levantamiento topográfico utilizando la fotogrametría con drones al método tradicional. *Universidad Nacional del Altiplano*.
- Villalba Sánchez, N. (2016). Topografía Aplicada. *In Wild*.
- Wolf, P., & Ghilani, C. (2016). Topografía.
- Zabota, B., & Kopal, M. (2021). Evaluación de la precisión de productos derivados de la fotogrametría de vehículos aéreos no tripulados utilizando PPK y GCP en terrenos



difíciles: en busca de un mapeo optimizado de caídas de rocas. *Remote Sensing*.
doi:<https://doi.org/10.3390/rs13193812>

Zevallos, M. (2021). Evaluación De Costos, Rapidez y Precisión en el Levantamiento Topográfico Realizado Con Dron en la Carretera Pillco Marca DistritoDecayran. *Universidad de Huanuco*. Obtenido de [http://repositorio.udh.edu.pe/bitstream/handle/123456789/2841/Zevallos Estrada%2C Manuel Orlando.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.udh.edu.pe/bitstream/handle/123456789/2841/Zevallos%20Manuel%20Orlando.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

ANEXOS

ANEXO 1: Marcado manual de PFC con personal con conocimientos de GIS



ANEXO 2: Indicaciones y apoyo para el marcado manual de PFC con personal con conocimientos de GIS





ANEXO 3: Certificado de operatividad de receptor GNSS (N° serie 6102F00254)



Certificado de Operatividad

Nombre Cliente:	GOBIERNO REGIONAL DE TACNA	No. Certificado:	22-OG-0407
Equipo:	RECEPTOR GNSS R12	Fecha de Certificado:	16/04/2022
Marca:	TRIMBLE	Fecha de Vencimiento:	16/04/2023
P.N.:	90913-60	Revisión:	1.0
Número de Serie:	6102F00254		

GEO SYSTEMS S.A.C. certifica que el equipo arriba descrito cumple con las especificaciones técnicas de la fábrica y los estándares internacionales establecidos.

En las pruebas efectuadas en Tiempo Real, el equipo se encuentra dentro de las tolerancias del fabricante.

MEDICION CINEMATICA EN TIEMPO REAL (REAL TIME KINEMATIC)

HORIZONTAL	8 mm + 1 ppm
VERTICAL	15 mm + 1 ppm

Los resultados obtenidos en las pruebas de Post Proceso fueron realizados en el software TRIMBLE BUSINESS CENTER V.5.4

PRECISIÓN MODO ESTATICO DE ALTA PRECISION (POST PROCESO)

HORIZONTAL	3 mm + 0.1 ppm RMS
VERTICAL	3.5 mm + 0.4 ppm RMS

Coordenadas del Punto del Orden "C", usado para la verificación de los equipos

ID	C-NORTE	C-ESTE	ELEVACION
Geo 1	8662725.493	280963.495	162.148




Seillo	Fecha	Responsable de la revisión
	16.04.2022	 Cristian Lopez Ambrocio Área de Servicio Técnico



- Este Certificado no atribuye al equipo otras características que las indicadas por los datos aquí contenidos. Los resultados se refieren al momento y condiciones en que se efectuaron las mediciones. Se garantiza la trazabilidad a los patrones nacionales.
- No se permite la reproducción parcial de este documento sin autorización expresa para ello.

Página 1 de 1

GEO SYSTEMS S.A.C. Telf: +51 1 315 2910 soporte@geosystemsperu.com www.geosystemsperu.com
 Av. Javier Prado Este 1402, Of.201, Urb. Córpac, San Isidro, Lima 027 - Perú



ANEXO 4: Certificado de operatividad de receptor GNSS (N° serie 6053F00559)



Certificado de Operatividad

Nombre Cliente:	GOBIERNO REGIONAL DE TACNA	No. Certificado:	22-OG-0404
		Fecha de Certificado:	16/04/2022
Equipo:	RECEPTOR GNSS R12	Fecha de Vencimiento:	16/04/2023
Marca:	TRIMBLE	Revisión:	1.0
P.N.:	90913-60		
Número de Serie:	6053F00559		

GEO SYSTEMS S.A.C. certifica que el equipo arriba descrito cumple con las especificaciones técnicas de la fábrica y los estándares Internacionales establecidos.

En las pruebas efectuadas en Tiempo Real, el equipo se encuentra dentro de las tolerancias del fabricante.

MEDICION CINEMATICA EN TIEMPO REAL (REAL TIME KINEMATIC)

HORIZONTAL	8 mm + 1 ppm
VERTICAL	15 mm + 1 ppm

Los resultados obtenidos en las pruebas de Post Proceso fueron realizados en el software TRIMBLE BUSINESS CENTER V.5.4

PRECISIÓN MODO ESTATICO DE ALTA PRECISION (POST PROCESO)

HORIZONTAL	3 mm + 0.1 ppm RMS
VERTICAL	3.5 mm + 0.4 ppm RMS

Coordenadas del Punto del Orden "C", usado para la verificación de los equipos

ID	C-NORTE	C-ESTE	ELEVACION
Geo 1	8662725.493	280963.495	162.148

Sello



Fecha

16.04.2022

Responsable de la revisión



Cristian Lopez Ambrocio
Área de Servicio Técnico



Profesional de Servicios Autorizado




Este Certificado no atribuye al equipo otras características que las indicadas por los datos aquí contenidos. Los resultados se refieren al momento y condiciones en que se efectuaron las mediciones. Se garantiza la trazabilidad a los patrones nacionales.

No se permite la reproducción parcial de este documento sin autorización expresa para ello.

Página 1 de 1

GEO SYSTEMS S.A.C. Telf. +51.1 315 2910 soporte@geosystemsperu.com www.geosystemsperu.com
Av. Javier Prado Este 1402, Of.201, Urb. Córpac, San Isidro, Lima 027 - Perú

ANEXO 5: Certificado de punto geodésico TAC 01083



INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL

DEPARTAMENTO DE GEODESIA



CERTIFICADO DE PUNTO GEODÉSICO

Visto el informe de procesamiento del punto geodésico TAC01083 y habiendo verificado el resultado obtenido por el GOBIERNO REGIONAL DE TACNA, el Instituto Geográfico Nacional procede a certificar la calidad del resultado obtenido, el cual cumple con los requisitos establecidos según Norma Técnica Geodésica, de acuerdo a las siguientes características:

CÓDIGO DEL PUNTO GEODÉSICO		TAC01083	
COORDENADAS WGS-84			
UTM		GEODÉSICAS	
ESTE	337717.568 m	LATITUD	17°51'24.92831" S
NORTE	8024978.443 m	LONGITUD	70°31'53.66449" O
ZONA	19 Sur	ALT. ELIPSOIDAL	456.051 m

Datos Generales:

- ORDEN: "C"
- UBICACIÓN (Prov. – Dpto.): TACNA - TACNA
- ESTACIÓN GNSS BASE: TACNA (TC01) - 2019
- ÉPOCA DE OBSERVACIÓN: AGOSTO 2020
- NÚM. CORRELATIVO: 846 – 2020/IGN/DIG/SDC/DG



Lima, 21 de septiembre de 2020

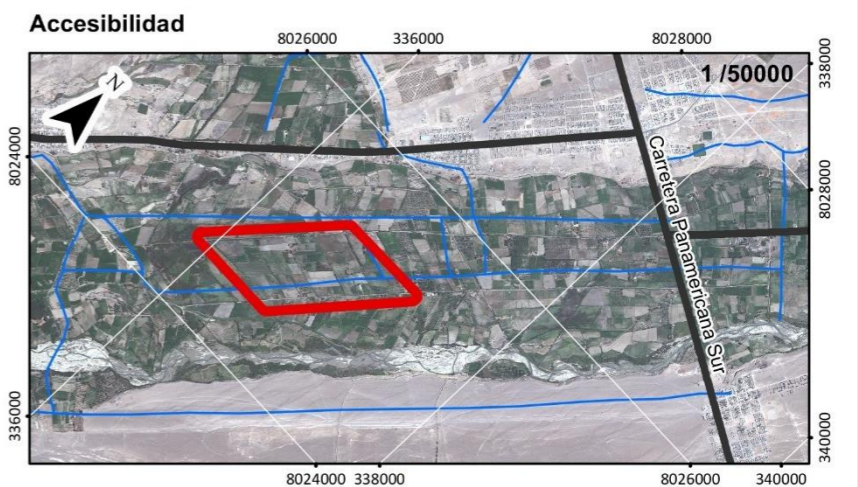
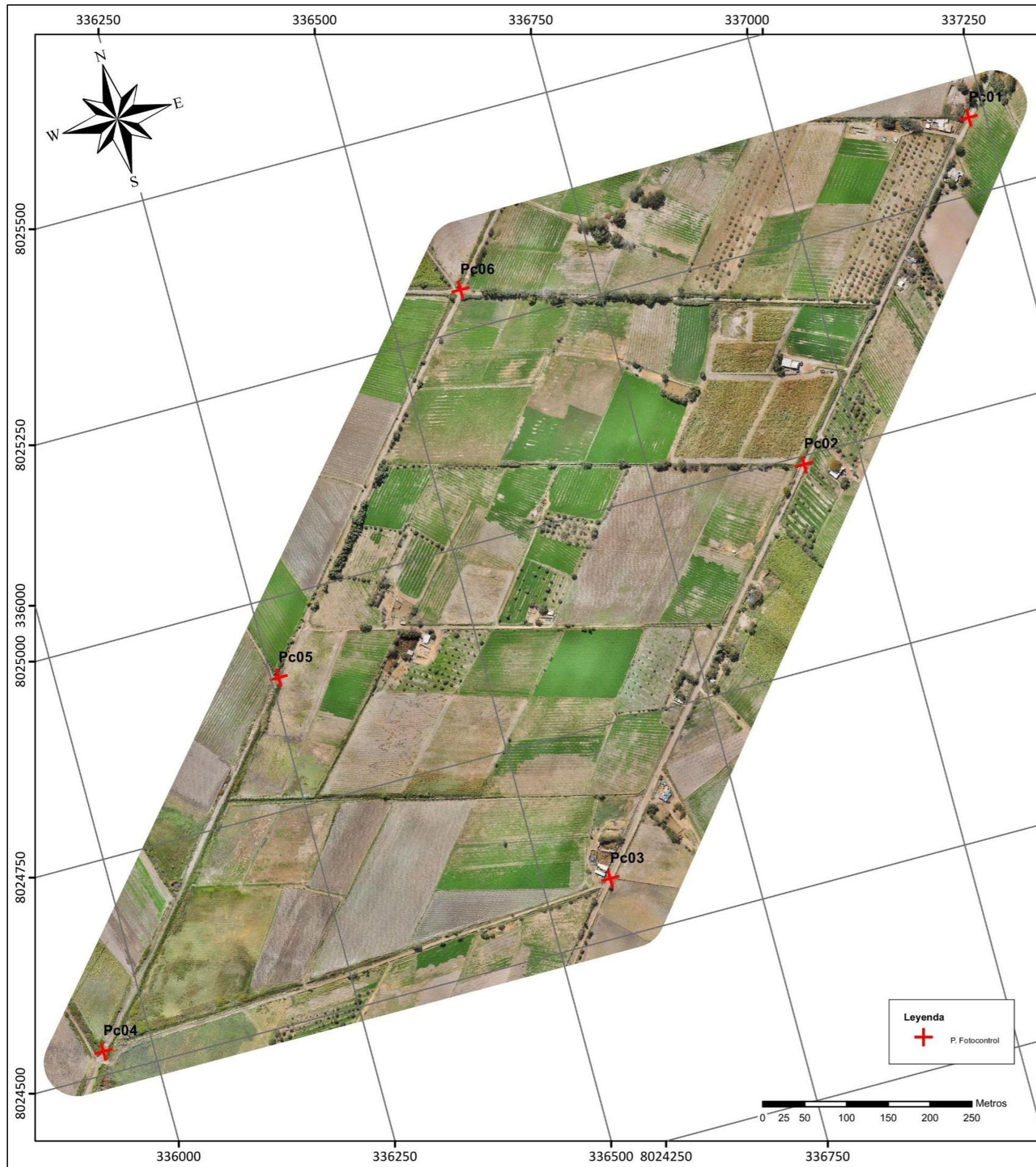


000000009767





VERAMENDI CELIS Ronnie
TTE EP
Jefe del Departamento de Geodesia



La investigación se realizó sobre un polígono muestra en el distrito de Sama, ubicado en la provincia de Tacna, dentro del departamento de Tacna, Perú. Esta área ha sido seleccionada debido a sus características topográficas, las cuales son ideales para llevar a cabo estudios de precisión georreferenciada utilizando tecnologías avanzadas de RPAS. El terreno delimitado cuenta con acceso mediante una vía de herradura, la cual se extiende aproximadamente 2.5 kilómetros valle abajo desde la carretera Panamericana Sur.

Universidad Nacional del Altiplano - Puno Facultad de Ciencia Agrarias Escuela Profesional de Ingeniería Topográfica y Agrimensura	
MAPA: ANEXO 6: Ubicación y localización del proyecto	
CARTOGRAFÍA: Departamento de Tacna - Provincia de Tacna - Distrito de Sama	ESCALA: 1:5,000
AUTOR: L. Vilcanqui C.	FECHA: Octubre 2024
FUENTE: Elaboración propia - Levantamiento PFC con sistema GNSS R12 - Vuelo de dron eBe X, adquisición en modo PPK	
P-01	



DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo LUIS EOMEL VILCANQUI COPAJA,
identificado con DNI 70847280 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERIA TOPOGRÁFICA Y AGRIMENSURA

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

" COMPARACION DE LA PRECISION ABSOLUTA GEOREFERENCIADA DE UN ORTOMOSAICO
GENERADO CON VUELO DE RPAS EBEE X PPK BAJO INFLUENCIA DE AJUSTE CON
PUNTOS DE FOTOCONTROL "

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 02 de JUNIO del 2025

FIRMA (obligatoria)



Huella



AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo LUIS EDMEL VILCANQUI COPAJA,
identificado con DNI 70847280 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERIA TOPOGRAFICA Y AGRIMENSURA,
informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

“COMPARACION DE LA PRECISION ABSOLUTA GEOREFERENCIADA DE UN ORTOMOSAICO GENERADO
CON VUELO DE RPAS EBEE X PPIC BAJO INFLUENCIA DE AJUSTE CON PUNTOS DE
FOTOCENTRO”

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los “Contenidos”) que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 02 de JUNIO del 2025

FIRMA (obligatoria)



Huella