



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



**“EVALUACIÓN DEL GRADO DE PRECISIÓN DE LOS MODELOS
DIGITALES DEL TERRENO OBTENIDOS MEDIANTE DATOS
GNSS-RTK, RPAS Y SRTM, DE LA MICROCUENCA QUEBRADA
CAMPOSANTO – MOQUEGUA”.**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. JHON DEYVIS CALSIN CCALLA

Bach. KATY MACHACA QUISPE

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO TOPÓGRAFO Y AGRIMENSOR**

PUNO – PERÚ

2024



Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

EVALUACIÓN DEL GRADO DE PRECISIÓN DE LOS MODELOS DIGITALES DEL TERRENO OBTENIDOS MEDIANTE DATOS GNSS-RTK, RPAS Y SRTM, DE LA MICROCUENCA QUEBRADA CAMPOSANTO – MOQUEGUA

AUTOR

JHON DEYVIS CALSIN CCALLA / KATY MACHACA QUISPE

RECuento DE PALABRAS

23808 Words

RECuento DE CARACTERES

134847 Characters

RECuento DE PÁGINAS

167 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

8.6MB

FECHA DE ENTREGA

Jun 4, 2024 2:34 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Jun 4, 2024 2:36 PM GMT-5

● 18% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 18% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 0% Base de datos de trabajos entregados
- 3% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)

V. CONDORI A.

Dr. Rosa Patricia Condori
Directora de tesis

Resumen



DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a mi hijo Andriu Calsin Machaca, y a mi amado esposo Jhon D. Calsin CCalla, mi querida familia; quienes me fortalecieron, ayudándome a afrontar los momentos más trascendentales de mi vida.

Agradezco al creador omnipotente por concederme alcanzar esta meta, por proporcionarme bienestar y sabiduría base para alcanzar mis objetivos.

A mis progenitores por su comprensión y apoyo, por ayudarme y haberme brindado los recursos necesarios para poder culminar mis estudios superiores.

Katy Machaca Quispe



DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mi querido hijo Andriu Calsin Machaca y a mi amada esposa Katy Machaca Quispe, que son mi fuente de inspiración y fuerza de motivación para cumplir mis objetivos.

A Dios por darme salud y sabiduría, que me permite día a día llegar a la cúspide de mi formación profesional.

A mis padres por formarme con los principios básicos, hábitos y valores, los cuales me han ayudado a sobresalir y afrontar cada momento de mi vida con la tenacidad que esta amerita.

Jhon Deyvis Calsin Ccalla



AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestros cordiales agradecimientos a: Nuestra primera casa de estudios “Universidad Nacional del Altiplano – Puno, Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela Profesional de Ingeniería Topográfica y Agrimensura”, por habernos permitido formarnos académicamente.

Así mismo agradecemos a nuestros docentes que nos brindaron sus conocimientos y su apoyo incondicional para seguir adelante en el transcurrir de nuestra vida académica. gracias a todos ustedes, que fueron los partícipes y responsables de que el día de hoy por medio de la presente se vea reflejado el resultado de nuestra formación; realizada con mucho ahínco con el objetivo de ameritar el tan anhelado título profesional.

Agradecemos de manera especial a nuestro director de tesis, asesores externos, y jurados correspondientes por sus sabios consejos y valiosas recomendaciones, que aportaron a este proyecto de investigación.

Jhon Deyvis Calsin Ccalla

Katy Machaca Quispe



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE ANEXOS	
ACRÓNIMOS	
RESUMEN	21
ABSTRACT.....	22
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	24
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	24
1.2.1. Problema general	24
1.2.2. Problema específico	24
1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	25
1.3.1. Hipótesis general.....	25
1.3.2. Hipótesis específica	25
1.4. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO	25
1.5. OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN	26



1.5.1. Objetivo general.....	26
1.5.2. Objetivo específico	26

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES	27
2.1.1. Antecedentes Internacionales	27
2.1.2. Antecedentes Nacionales	30
2.1.3. Antecedentes Locales	32
2.2. MARCO TEÓRICO	33
2.2.1. GEODESIA.	33
2.2.1.1. Geodesia geométrica	34
2.2.1.2. Clasificación de los puntos geodésicos	34
2.2.1.3. Punto geodésico orden “0”	34
2.2.1.4. Punto geodésico orden “A”	35
2.2.1.5. Punto geodésico orden “B”	35
2.2.1.6. Punto geodésico orden “C”	35
2.2.1.7. Sistemas Globales de Navegación por Satélite GNSS.....	36
2.2.1.8. Datum (WGS-84)	36
2.2.2. Modelos	37
2.2.3. Modelo Digital de Elevación (MDE).....	38
2.2.4. Tipos de Modelos digitales de elevación	40
2.2.4.1. Modelo digital de superficie MDS.....	40
2.2.4.2. Modelo digital de superficie MDT.....	41
2.2.4.3. Modelo Digital de Superficies Normalizado (MDSn)	44
2.2.4.4. Diferencia entre MDS y MDT	44



2.2.5. Estructura de datos de los MDE (MDT y MDS)	46
2.2.6. Fuentes de datos de los MDE (MDT y MDS):	48
2.2.7. Métodos o técnicas de medición directa	50
2.2.7.1. Levantamiento Topográfico equipos GNSS	50
2.2.8. Métodos o técnicas de medición indirectas	52
2.2.8.1. Levantamiento mediante el Sistemas de aeronaves pilotadas a Distancia (RPAS).....	52
2.2.8.2. Fotogrametría Aérea	54
2.2.8.3. Vuelo Fotogramétrico	54
2.2.8.4. Proyecto de vuelo.....	55
2.2.8.5. Altura de Vuelo	55
2.2.8.6. Línea de vuelo	56
2.2.8.7. Cobertura.....	58
2.2.8.8. Productos de la Fotogrametría	58
2.2.8.9. Agisoft Matashape	60
2.2.8.10. Misión Topográfica Shuttle Radar SRTM (conocido como la misión de la NASA).....	61
2.2.8.11. La primera versión pública de SRTM, lanzada a fines de 2005	65
2.2.8.12. La segunda versión pública de SRTM, lanzada en septiembre de 2014.....	65
2.2.8.13. La tercera versión pública de SRTM, denominada SRTM V3.	65
2.2.8.14. La versión 4 de SRTM	65
2.2.8.15. El Futuro de la Misión SRTM.....	66
2.2.8.16. Software QGIS	67
2.2.8.17. Clasificación general de la Información Geográfica:	67



2.2.8.18. Aplicaciones:.....	69
2.2.8.19. Otros usos:.....	69
2.2.9. Otros términos y definiciones:.....	72
2.2.9.1. Error de medida:.....	72
2.2.9.2. Exactitud:	72
2.2.9.3. Exactitud posicional:.....	72
2.2.9.4. Sesgo:.....	75
2.2.9.5. Veracidad:	75
2.2.9.6. Precisión:.....	75
2.2.9.7. Muestra:	77
2.2.9.8. Estimación:.....	77

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. ZONA DE ESTUDIO.....	78
3.1.1. Ubicación Política.....	78
3.1.2. Ubicación de Coordenadas UTM	78
3.1.3. Ubicación de Coordenadas Geográficas	78
3.1.4. Geomorfología de la zona.....	78
3.1.5. Clima.....	79
3.1.6. Vías de Acceso.....	80
3.2. MATERIALES Y EQUIPOS	81
3.2.1. Materiales.....	81
3.2.2. Herramientas	82
3.2.3. Equipos	82
3.2.4. Instrumentos.....	83



3.2.5. Software Utilizados.....	83
3.3. PERIODO DE DURACIÓN DEL ESTUDIO	84
3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA DE ESTUDIO	85
3.4.1. POBLACIÓN.....	85
3.4.2. MUESTRAS	85
3.5. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.....	85
3.5.1. Diseño De La Investigación.....	85
3.5.2. Tipo De Investigación.....	85
3.5.3. Significancia Estadística	86
3.6. VARIABLE DE LA INVESTIGACION.....	86
3.6.1. Variable Dependientes	86
3.6.2. Variable Independientes	86
3.7. PROCEDIMIENTO.....	86
3.7.1. Grado de Precisión de los MDT obtenidos con datos del SRTM.....	87
3.7.1.1. Procesamiento de datos SRTM para la obtención de los MDT	88
3.7.1.2. Procedimiento de imagen raster SRTM	91
3.7.2. Grado de Precisión de los Modelos Digitales de Terreno MDT resultante de los datos RPAS.....	93
3.7.2.1. Reconocimiento De Capo Y Ubicación De Puntos Estratégicos	94
3.7.2.2. Establecimiento De Puntos De Control De Orden “C”	94
3.7.2.3. Post Proceso Estático	96
3.7.2.4. Establecimiento De Los Puntos De Control Terrestre (Fotocontrol)	97
3.7.2.5. Planificación Y Ejecución De Vuelo Fotogramétrico.....	100



3.7.2.6. Procesamiento de Datos y Obtención de MDT Utilizando Software Agisoft Metashape	104
3.7.3. Grado de Precisión el Modelo Digital del Terreno MDT resultado de los Datos GNSS en modo RTK	110
3.7.3.1. PLANIFICACIÓN Y RECOLECCION DE DATOS EQUIPOS CON GNSS MODO RTK (Real Time Kinematic).....	111
3.7.3.2. PROCESAMIENTO DE DATOS Y OBTENCIÓN DE MDT UTILIZANDO SOFTWARE CIVIL 3D	112

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS DE PRECISIONES DE LOS MODELOS DIGITALES DE TERRENO	114
4.1.1. Evaluación De Los Puntos De Control Posicional MDT RPAS	114
4.1.1.1. Resultados de precisión horizontal y vertical, errores en X, Y, Z para el MDT RPAS	115
4.1.1.2. Resultados de precisión horizontal y vertical, cálculo de error cuadrático medio ECM en X, Y, Z para el MDT RPAS.....	117
4.1.2. Evaluación Del MDT GNSS - RTK	118
4.1.2.1. Resultados de precisión horizontal y vertical, errores en X, Y, Z para el MDT GNSS-RTK.	118
4.1.2.2. Resultados de precisión horizontal y vertical, cálculo de error cuadrático medio ECM en X, Y, Z para el MDT RPAS.....	120
4.1.3. Evaluación del MDT SRTM.....	121
4.1.3.1. Resultados de precisión horizontal y vertical, errores en X, Y, Z para el MDT SRTM	121



4.1.3.2.	Resultados de precisión horizontal y vertical, cálculo de error cuadrático medio ECM en X, Y, Z para el MDT SRTM.....	123
4.1.4.	Resumen de Resultados de precisión horizontal y vertical, cálculo del ECM en X, Y, Z para el MDT GNSS-RTK, SRTM y RPAS	123
4.2.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	125
4.2.1.	PRECISIÓN DE MDT - RPAS	125
4.2.1.1.	RESUMEN ESTADÍSTICO.....	125
4.2.1.2.	ANALIS ESTADÍSTICO MDT – RPAS	126
4.2.1.3.	ANALIS ESTADÍSTICO MDT - GNSS RTK.....	129
4.2.1.4.	ANALIS ESTADÍSTICO MDT - SRTM.....	132
4.2.1.5.	RESUMEN ESTADÍSTICO GENERAL DE ERRORES HORIZONTALES Y VERTICALES DE LOS MDTs – RPS, GNSS(RTK) Y SRTM.....	134
4.3.	DISCUSIONES.....	135
V.	CONCLUSIONES.....	136
VI.	RECOMENDACIONES	137
VII.	REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS.....	138
ANEXOS.....		143



Área : Topografía, Geodesia, Cartografía y Catastro.

Tema : “Evaluación del Grado de Precisión de los Modelos Digitales del Terreno Obtenidos Mediante GNSS-RTK, RPAS y SRTM, de la Microcuenca Quebrada Camposanto – Moquegua”.

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 10 de Junio de 2024



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Datos del SRTM	64
Tabla 2 Vías de Acceso al área de estudio Del Departamento de Moquegua.	80
Tabla 3 Cuadro de Operacionalización de Variables	86
Tabla 4 Resumen de aceptación.....	97
Tabla 5 Lista de punto UTM de (ERP) MQ02 y los puntos (PCG) MOQ 1046 y MOQ 1047	97
Tabla 6 Lista de puntos de control terrestre UTM de Foto controles	99
Tabla 7 Lista de características de la cámara del Drone	101
Tabla 8 Datos Del Levantamiento Fotogramétrico Realizado.....	101
Tabla 9 Coeficientes de calibración y matriz de correlación	103
Tabla 10 Errores medios de las posiciones de cámaras	104
Tabla 11 Error posicional X, Y, Z MDT RPAS.....	115
Tabla 12 ECM de Puntos de Control Terrestre (Foto Control).....	117
Tabla 13 Error posicional X, Y, Z MDT GNSS RTK	119
Tabla 14 ECM de Puntos de Control Terrestre.....	120
Tabla 15 Error posicional X, Y, Z MDT SRTM.....	122
Tabla 16 Modelo SRTM	123
Tabla 17 Resumen de Errores Medios cuadráticos	124
Tabla 18 Resumen Estadístico ERROR horizontal y vertical del MDT RPAS con respectó a PCT establecidos.....	126
Tabla 19 ANOVA para ERROR MDT RPAS	128
Tabla 20 Pruebas de Múltiple Rangos Tukey al 95%.....	128



Tabla 21	Resumen Estadístico ERROR horizontal y vertical para el MDT – GNSS modo RTK con respecto a PCT.	129
Tabla 22	ANOVA para ERROR MDT – GNSS RTK.....	130
Tabla 23	Pruebas de Múltiple Rangos Tukey al 95%.....	131
Tabla 24	Resumen Estadístico ERROR horizontal y vertical para el MDT – SRTM con respecto a los PCT.....	132
Tabla 25	ANOVA para ERROR MDT – SRTM.....	133
Tabla 26	Casos de grupos	134
Tabla 27	Resumen general de errores horizontales y verticales	134



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Datum WGS84.....	37
Figura 2 Funcionalidad de los modelos.....	37
Figura 3 Modelo digital de elevación.....	38
Figura 4 Concepto del MDE	39
Figura 5 Modelo Digital de Elevaciones (DEM)	40
Figura 6 Modelo Digital de Superficie (MDS)	40
Figura 7 Malla tridimensional coordenadas x,y,z (MDT).....	42
Figura 8 Modelo Digital de Terreno (MDT)	42
Figura 9 Curvas de nivel, (MDT).....	43
Figura 10 Modelo 3D.	43
Figura 11 Modelo Digital de Terreno (MDSn)	44
Figura 12 MDS versus MDT	45
Figura 13 Estructura Modelo de Isohipsas	46
Figura 14 Estructura modelo de Triangulación y TIM.....	47
Figura 15 Estructura modelo de mallas regulares	47
Figura 16 Estructura modelo de Quadres	48
Figura 17 Esquema de posicionamiento estático diferencial	51
Figura 18 Vuelo fotogramétrico	53
Figura 19 Altura de vuelo en fotogrametría	56
Figura 20 Señales de radar	62
Figura 21 Señales de radar	63
Figura 22 SRTM – Versión 4	66
Figura 23 Diferencia entre el Modelo Vector y Ráster	67



Figura 24	Organización del QSIG en capas	68
Figura 25	Modelo digital de elevación de los Estados Unidos	70
Figura 26	Conceptualización de MDT y MDE	71
Figura 27	Cálculo de errores o discrepancias.....	74
Figura 28	Relación entre veracidad y precisión	76
Figura 29	unidades geomorfológicas.	79
Figura 30	Ubicación del área de estudio de investigación.	80
Figura 31	Localización del área de estudio.	81
Figura 32	Flujograma de los MDT obtenidos con datos SRTM	87
Figura 33	Configuración del proyecto de estudio en Qgis.....	88
Figura 34	Configuración de complementos	90
Figura 35	Descarga de datos SRTM de la página NASA EARTH DATA.....	90
Figura 36	Determinación del área de estudio.....	91
Figura 37	Configuración para generar curvas de nivel.	92
Figura 38	Flujograma de los MDT obtenidos con datos RPAS.....	93
Figura 39	Medición y posicionamiento del punto PCG-01 Método Estático	94
Figura 40	Punto geodésico de orden "0"ERP –MQ02	95
Figura 41	Posicionamiento de los puntos PCG- MOQ 1046 y MOQ 1047	95
Figura 42	Posicionamiento del punto PCG- MOQ 1046 y MOQ 1047	96
Figura 43	Establecimiento de Puntos de Control en Modo Estático Rápido	98
Figura 44	Distribución de Puntos de Control terrestre registrados en Modo Estático Rápido.....	98
Figura 45	Planificación de vuelo.....	100
Figura 46	Ejecución de vuelo fotogramétrico	101
Figura 47	Posiciones de cámaras y solapamiento de imágenes	102



Figura 48	Gráfico de residuales para FC6310 (8.8 mm)	103
Figura 49	Posiciones de cámaras.....	104
Figura 50	Imágenes y puntos de control terrestre (foto control).....	105
Figura 51	Posicionamiento de marcadores.....	106
Figura 52	Cargado Puntos control terrestre (foto control)	106
Figura 53	Creación de malla, ajuste, y optimización del área de trabajo.....	107
Figura 54	Creación de la Nube de puntos densa	107
Figura 55	Generación del MDE Microcuenca Quebrada Camposanto – Moquegua. 108	
Figura 56	Ortofoto de la Microcuenca Quebrada Camposanto – Moquegua.....	108
Figura 57	Curvas de nivel MDT Microcuenca Quebrada Camposanto – Moquegua 109	
Figura 58	Flujograma Del MDT obtenidos con datos GNSS modo RTK	110
Figura 59	Levantamiento topográfico con equipos GNSS (Base) y (Rover) TRIMBLE R6.....	111
Figura 60	TIM y curvas de nivel área de estudio	112
Figura 61	Vista 3d Curvas de nivel MDT GNSS Microcuenca Quebrada Camposanto – Moquegua	113
Figura 62	Vista 2D Curvas de nivel MDT GNSS Microcuenca Quebrada Camposanto – Moquegua	113
Figura 63	Curvas de nivel MDT Microcuenca Quebrada Camposanto – Moquegua 114	
Figura 64	Tolerancias para producción de cartografía básica.....	124
Figura 65	Diagrama de cajas de ERROR horizontal y vertical para el MDT RPAS. 127	
Figura 66	Diagrama de cajas de ERROR horizontal y vertical para el MDT – GNSS modo RTK	130



ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1	Monumentación de Puntos Control Geodésico (PCG) de orden “C”.....	143
ANEXO 2	Establecimiento y Ubicación de los Puntos De Control Terrestre.	143
ANEXO 3	Especificación Técnica del Equipo GNSS.	144
ANEXO 4	Especificación técnica del Equipo RPAS.....	145
ANEXO 5	Parámetro de Prosamiento Fotogramétricos con el Software Agisoff. ...	146
ANEXO 6	Certificado operativo GNSS TRIMBLE R6.....	149
ANEXO 7	Constancia de calibración drone PHANTOM 4.....	150
ANEXO 8	Registro Fotográfico del Área de Estudio, fotografías aéreas del drone y procesamiento de fotos con el Agisoft Metashape.	151
ANEXO 9	Determinación de los 47 PCT., Para la respectiva evaluación de la precisión Horizontal (X, Y) y Vertical (Z) con el programa QGIS.....	159
ANEXO 10	Estracto de la e Guía Para la Evaluación De La Exactitud Posicional De Datos Espaciales.	160
ANEXO 11	Planos de ubicación y MDTs del área de estudio.....	163



ACRÓNIMOS

ACRE:	Unidad de Medida de la Superficie Terrestre.
CDE:	Conjunto de Datos a Evaluar.
CDR:	Conjunto de Datos a referencia.
DMA:	Agencia de Mapeo del Departamento de Defensa de los Estados Unidos.
ECM:	Error Cuadrático Medio
ERP:	Estación de Rastreo Permanente.
ISO:	Internacional Organización for estandarización
IGN:	Instituto geográfico Nacional.
GNSS:	Global Navigation Satellite System (Sistema Satelital de Navegación Global).
GSD:	distancia entre el centro de dos píxeles consecutivos medidos en el suelo
LiDAR:	Light Detection and Ranging (detección y medición de luz).
NTRIP:	Networked Transport of RTCM (Protocolo de Internet de transporte de red RTCM).
MDEs:	Modelo Digital de Elevaciones.
MDS:	Modelo Digital de Superficies.
MDSN:	Modelo Digital de Superficies Normalizado
MDTs:	Modelos Digitales de Terrenos.
MEEP:	Métodos De Evaluación De La Exactitud Posicional.
MTC:	Ministerio de Transporte y Comunicaciones.
PCG:	Estableciéndose los puntos de control geodésicos.
RADAR:	radio detection and Ranging (detección y distanciometría de radio).
RTK:	Real Time Kinematic (Cinemático en tiempo real).
REGGEN:	Red Geodésica Geocéntrica Nacional.
REGPMOC:	Red Geodésica Peruana de Monitoreo Continuo.
RMS:	Root mean square (Error medio cuadrático).
RPA:	Remotely Piloted Aircraft (Aeronave Pilotada a Distancia).
RPAS:	Remotely Piloted Aircraft System (Sistema de Aeronave Remotamente Pilotada).
SRTM:	Misión Topográfica Shuttle Radar (conocido como la misión de la NASA).
TIN:	Red de Triángulos Irregulares.
UAV:	Unmanned Aerial Vehicle (Vehículo Aéreo no Tripulado).
UTM:	Universal Transversal de Mercator.
USGS:	United States Geological Survey (Servicio Geológico de Estados Unidos).
WGS-84:	Wold Geodetic System 84 (Sistema Geodésico Mundial 1984).



RESUMEN

La presente investigación se desarrolló en la Microcuenca Quebrada Camposanto – Moquegua, Ubicado en las coordenadas UTM WGS-84 Zona 19S Este 297820.00, Norte 8097521.00, límite entre los Distrito de. Samegua y Moquegua, Prov. Mariscal Nieto, Departamento de Moquegua, en el año de 2022, siendo el objetivo: principal el determinar el grado de precisión horizontal (XY) y vertical (Z) de los MDTs, obtenidos mediante datos del GNSS- RTK, RPAS y SRTM; para ello se estableció 2 PCG de orden “C” (MOQ-01046 y MOQ-01047). Se registraron 47 puntos de control terrestre, utilizando equipos GNSS en modo estático rápido. Se obtuvieron los datos topográficos necesarios mediante métodos de medición directos e indirectos para la generación de MDTs, empleando GNSS-RTK, RPAS y SRTM; su grado de precisión fue evaluado y determinado mediante la contrastación de las coordenadas (x_i, y_i, z_i) del CDR (47 PCT) versus (x_{pi}, y_{pi}, z_{pi}) del CDE coordenadas de control posicional de C/U de los modelos generados. Concluyendo que el MDT de mayor precisión horizontal (XY) es el obtenido con datos GNSS-RTK con un valor promedio de 1.00 cm, seguido del RPAS con un valor promedio de 1.92 cm y finalmente está el STRM con promedio de 40.78 cm. En cuanto a la precisión vertical (Z), el modelo de mayor precisión es el GNSS-RTK con un valor promedio de 2.10 cm, seguido del RPAS con un valor promedio de 3.33 cm y finalmente está el STRM con promedio de 4.78 cm. La metodología de esta investigación tiene enfoque cuantitativo y un análisis numérico. El periodo de ejecución es transversal y el análisis de datos es de nivel descriptivo. Se utilizó ANOVA para el tratamiento de muestras, concluyéndose que hay una diferencia significativa en uno del tratamiento.

PALABRAS CLAVE: modelo digital, microcuenca, precisión



ABSTRACT

The present research was conducted in the Camposanto Stream Microbasin – Moquegua, located at UTM coordinates WGS-84 Zone 19S East 297820.00, North 8097521.00, on the border between the districts of Samegua and Moquegua, Mariscal Nieto Province, Moquegua Department, in the year 2022, with the main objective being to determine the degree of horizontal (XY) and vertical (Z) precision of the MDTs obtained using GNSS-RTK, RPAS, and SRTM data; for this purpose, 2 Control Point Groups (CPG) of order “C” (MOQ-01046 and MOQ-01047) were established. 47 ground control points were recorded using GNSS equipment in fast static mode. The necessary topographic data were obtained through direct and indirect measurement methods for the generation of MDTs, employing GNSS-RTK, RPAS, and SRTM; their precision was evaluated and determined by contrasting the coordinates (x_i, y_i, z_i) of the CDR (47 GCPs) versus (x_{pi}, y_{pi}, z_{pi}) of the CDE positional control coordinates of each of the generated models. Concluding that the MDT with the highest horizontal (XY) precision is obtained with GNSS-RTK data with an average value of 1.00 cm, followed by RPAS with an average value of 1.92 cm, and finally, SRTM with an average of 40.78 cm. Regarding vertical (Z) precision, the model with the highest precision is GNSS-RTK with an average value of 2.10 cm, followed by RPAS with an average value of 3.33 cm, and finally, SRTM with an average of 4.78 cm. The methodology of this research has a quantitative focus and numerical analysis. The execution period is cross-sectional, and the data analysis is at a descriptive level. ANOVA was used for sample treatment, concluding that there is a significant difference in one of the treatments.

KEYWORDS: GNSS-RTK, digital model, microbasin, precision.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

En la época actual, el progreso geotecnológico se ha desarrollado a tal grado que nos posibilita utilizar métodos alternos de obtención y procesamiento de datos e información cartográfica; Desde tiempos remotos, la precisión de la ubicación ha sido contemplada como un elemento esencial para garantizar la calidad de cualquier producto cartográfico (Ariza López, 2002), toda vez que influye en aspectos como la geometría, topología, calidad temática y que guarda una estrecha conexión con los datos espaciales que funcionan de manera conjunta.

Por tanto, queda evaluar el grado de precisión de los Modelos digitales terreno (MDT), siendo este un tipo un modelo digital de elevación (MDE), obtenido con los siguientes métodos de medición directos e indirectos GNSS-RTK, RPAS, SRTM, afín de obtener resultados óptimos que garanticen una cartografía confiable, cuyos objetivos se amolden al menester de cada beneficiario.

La creciente oferta y demanda de datos e información cartográfica provenientes del procesamiento de datos SRTM, RPAS y GNSS-RTK que buscan obtener los MDTs de precisión, han incentivado el desarrollo de diversas tecnologías. La toma de imágenes para fines topográficos ha sufrido en los últimos años una revolución, siendo utilizadas para producir datos de la superficie terrestre en forma de MDTs. A pesar de que los niveles de precisión se describen generalmente, varios autores sugieren que las validaciones deben llevarse a cabo a nivel local para tomar decisiones más asertivas; Toda vez que el entendimiento de la topografía es esencial para interpretar la mayoría de los procesos que tienen lugar en la superficie (Díaz et al., 2015), que se emplea en el estudio de la ecología, hidrología, riesgos naturales, entre otros campos, como una variable



fundamental para comprender y anticipar ciertos comportamientos a través de la modelización (Chávez Servia et al., 2004).

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente los modelos digitales de terreno (MDT) se aplican en las diferentes ramas de la ingeniería, resultan del procesamiento de datos e información cartográfica obtenidas mediante métodos de medición directos e indirectos GNSS-RTK, RPAS, SRTM, dando como resultado a MDE con una cierta densidad de nube de puntos, en tal sentido se requiere obtener mejores resultados en la generación de MDTs a partir de estos, que garanticen una cartografía confiable e información precisa, con mayor grado de detalle acerca de las características topográficas del área de estudio.

Por tanto, se requiere definir cuál de los MDT obtenidos mediante el procesamiento de datos GNSS-RTK, RPAS, SRTM, cumple con la precisión requerida, planteando lo siguiente.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema general

¿Cuál es el grado de precisión horizontal (X, ζ Y) y vertical (Z) de los modelos digitales del terreno obtenido mediante datos GNSS-RTK, RPAS, SRTM de la microcuenca quebrada Camposanto – Moquegua?

1.2.2. Problema específico

¿Cuál de los modelos digitales del terreno obtenidos mediante datos GNSS-RTK, RPAS, SRTM, de la microcuenca quebrada Camposanto – Moquegua, tiene mayor precisión horizontal (X, Y)?

¿Cuál de los modelos digitales del terreno obtenidos mediante datos GNSS-RTK, RPAS, SRTM, de la microcuenca quebrada Camposanto – Moquegua, tiene mayor precisión vertical (Z)?

1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Hipótesis general

Existe diferencia significativa al determinar el grado de precisión horizontal (X, Y) y vertical (Z) de los modelos digitales del terreno obtenidos mediante datos GNSS-RTK, RPAS, SRTM, de la Microcuenca Quebrada Camposanto – Moquegua.

1.3.2. Hipótesis específica

Existe diferencia significativa al determinar el grado de precisión horizontal (X, Y) de los modelos digitales del terreno obtenidos mediante datos GNSS-RTK, RPAS, SRTM, de la Microcuenca Quebrada Camposanto – Moquegua.

Existe diferencia significativa al determinar el grado de precisión vertical (Z) de los modelos digitales del terreno obtenidos mediante datos GNSS-RTK, RPAS, SRTM, de la Microcuenca Quebrada Camposanto – Moquegua.

1.4. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

Actualmente en la zona denominada “MICROCUCENCA QUEBRADA CAMPOSANTO – MOQUEGUA”, se viene desarrollando una expansión urbana no planificada impulsada por el crecimiento poblacional desmedido, requiriendo contar con un Modelo Digital De Terreno (MDT) de precisión, fidedigna al relieve topográfico

existente, que sea factible de emplear para la obtención de las características topográficas, como base del estudio hidrológico y la planificación territorial requerida.

Por cuanto el presente trabajo parte de dos supuestos básicos; El primero: es que los Modelos Digitales Del Terreno SON ÚTILES para la obtención de la información precisa acerca de las características topográficas, como base del estudio hidrológico y la planificación territorial; El segundo: es más bien una realidad: los MDTs, provenientes de los datos GNSS-RTK, RPAS, SRTM, actualmente vienen siendo utilizados con más frecuencia por las diversas entidades públicas y privadas; por esta razón es menester determinar el grado de precisión de estos MDTs.

1.5. OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. Objetivo general

Determinar el grado de presión horizontal (X, Y) y vertical (Z) de los modelos digitales del terreno obtenidos mediante datos GNSS-RTK, RPAS, SRTM, de la Microcuenca Quebrada Camposanto – Moquegua.

1.5.2. Objetivo específico

- Determinar en el grado de precisión horizontal (X, Y) de cada uno de los modelos digitales del terreno obtenidos mediante datos GNSS-RTK, RPAS, SRTM, de la Microcuenca Quebrada Camposanto – Moquegua.
- Determinar en el grado de precisión vertical (Z) de cada uno de los modelos digitales del terreno obtenidos mediante datos GNSS-RTK, RPAS, SRTM, de la Microcuenca Quebrada Camposanto – Moquegua.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES

La presente investigación aborda el estudio de la precisión de los Modelos digitales de terreno, guardando relación directa con estudios de investigación realizados a nivel internacional e internacional.

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Vidal Páez et al. (2019) manifiestan que los MDE considerados con libre acceso tales como DEM ASTER, DEM SRTM o DEM Cartosat-1, Se ven influenciados por la incertidumbre durante la recolección de datos y por sesgos que varían según las condiciones del terreno. Se lleva a cabo la evaluación de la precisión de MDTs utilizando puntos de control obtenidos mediante GPS, luego las elevaciones incluidas en los MDE, se expresan en curvas de nivel, y se escoge la elección al azar de puntos en las líneas de nivel, utilizada para crear una superficie, interpolando mediante diversos métodos, incluyendo la ponderación inversa a la distancia y la interpolación de polinomios globales (GPI), Kriging, intercalación de polinomio local (LPI), interpolación bilineal y función de base radial (RBF). Se ha ejecutado el análisis con 830 puntos de control del area (Madhya, India, con una extensión total de 120 km²). Al comparar las altitudes con los PDC, se obtiene los siguientes productos al emplear el método de interpolación bilineal., en el acaecimiento de Cartosat-1 y SRTM, se redujo en demasía los valores de RMSE y error medio (μ), en el caso de SRTM el RMSE=2,73 m y el μ =-0.36 m, para Cartosat-1 el RMSE=3,36 m. y el μ =-2.74



m, no obstante, para ASTER la disminución de incertidumbres, con interpolación bilineal, no es visible, dado que permanece las μ en datos muy parecidos para todos las técnicas de interpolación, para el caso bilineal el RMSE= 6,12 m y el μ = 0,28 m, el valor más pequeño de μ se genera con el método de interpolación de Kriging, donde μ = 0,22 m. También se confrontaron los MDE con los PDC no empleando técnicas de interpolación, resultando favorable a Cartosat-1, Los resultados arrojaron los siguientes datos: RMSE= 3,49 m y μ = -2,71 m, siendo los productos más bajos de los 3 MDE evaluados.

Satge et al. (2016), midieron la precisión del MDE global SRTM-GL1 en la Meseta Andina Sudamericana contraponiéndolos con los MDE SRTM v4 y ASTER GDEM v2. Se utilizó 160.000 Puntos De Control (PDC) exportados de la fuente de datos ICESat/GLAS (Ice, Cloud and Land Elevation Satellite/Geoscience Laser Altimeter System), con una variación vertical teórica de 15 cm, aprox. Se compararon los valores de pendiente derivados de los MDE a nivel mundial con los obtenidos de 265,000 pares de puntos de ICESat/GLAS. Esto se hizo con un estudio estadístico detallado y cuantitativo, agregando un nuevo índice llamado Rango de Falsa Pendiente (FSR), Este estudio estadístico examina la discrepancia entre el número de casos de pendientes diferentes al contrastar los datos del (MDE) con las mediciones del terreno, y el número de casos en los que las pendientes coinciden en su valor. La zona de estudio abarca 192.390 Km², esta meseta andina es parte de tres países (Bolivia, Perú y Chile). divisándose un sesgo negativo de 7 m en SRTM v4 y SRTM GL1, y un sesgo positivo en ASTER GDEM v2 de 0,8 m, no obstante, SRTM GL1 posee una desviación estándar (σ) de la altitud “<”, y el modelo ASTER GDEM v2 el “<” RMSE debido a una disminución en el promedio de error. En pendiente baja, así



como en SRTM v4 y en SRTM GL1, los productos deslumbran datos iguales, los que se suben con el incremento de la pendiente, Es probable que esto se deba al tamaño de la malla utilizada en el (MDE). En general, el conjunto de datos SRTM GL1 proporciona un cálculo más preciso de la altitud que el conjunto de datos SRTM v4 en zonas con pendientes bruscas. Cuando contraponen ASTER GDEM v2 y SRTM GL1 se evidencia un error “>” pero “<” desviación estándar. Para pendiente > a 10o SRTM GL1 resulta menores RMSE que GDEM v2. Una rectificación del sesgo de 7 m en el SRTM GL1 medra sus errores de elevación y disminuye el μ y RMSE un 100% y 30%, correspondientemente. La desviación estándar es invariable. Después de la rectificación de este sesgo el SRTM GL1 resulta el MDE más preciso de los 3 evaluados.

Del Río Santana et al. (2020), destaca su objetivo de evaluar la precisión del MDE empleando fotogrametría UAV económicos. Se busca demostrar la idoneidad de esta técnica en comparación con el levantamiento topográfico tradicional mediante estación total, para la determinación de cartografía minera, donde es crucial determinar el volumen de material extraído anualmente. La investigación se lleva a cabo en el área de Jastrabá (Eslovaquia). y considera dos métodos de adquisición de datos para este proyecto, por un parte la topografía clásica y en otra la fotogrametría con un UAV Phantom 2 Visión+. La precisión del MDE final se deriva de la información de entrada (incertidumbre del método de medición empleado) y la técnica de interpolación empleada con el fin de obtener el MDE. generándose dos MDE, por un lado, con datos de topografía clásica (439 puntos) con $RMSE=0,043$ m, y por otra parte los resultantes del vuelo realizado con el UAV. Mediante 237 PDC se concluye que $RMSE_{UAV}=8,36$ cm. Luego, ambos MDE se superpusieron empleando el software Trimble Real



Works, tomándose como referente el resultante de topografía clásica, determinándose las discrepancias entre ambos modelos, revelándose la interpretación hipsométrica con un máximo de 834 mm. Siendo más notorias las discrepancias en el perímetro o taludes de cantera o mina, sobre todo en el curso de la escorrentía generada en la parte superior de los mismos, rasgos que con el levantamiento de topografía clásica resultan correctamente plasmados, no obstante, en los registros con láser escáner o mediante fotografías aéreas, se denotan a detalle. Como conclusión, se establece que la fotogrametría con UAV que es de bajo coste, cumple con los requisitos de precisión, exactitud posicional requeridos para la generación de documentación y registro de procesos mineros en Eslovaquia.

Zúñiga González (2016), Llevó a cabo la creación de modelos tridimensionales MDT utilizando fotogrametría con drones ligeros, empleando técnicas fotogramétricas. Cuyos resultados obtenidos se compararon con los resultados de los obtenidos mediante métodos tradicionales ejecutados en el talud de esquistos cuarzo sericíticos de la Universidad, ubicado en el Km 7+000 de la antigua vía Baños-Puyo. Se observaron discrepancias mínimas en la orientación de las discontinuidades, con un coeficiente de correlación (R) de 0.99 para el azimut de inclinación y 0.89 para la inclinación, lo que demuestra la efectividad de la metodología propuesta (fotogrametría con drones) en la medición estructural de los planos de fractura.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Hinostroza Quijada (2021), Examino los errores máximos aceptables entre el levantamiento topográfico utilizando drones y el Sistema de Posicionamiento



Global Diferencial. Se concluyó que, en este estudio, el levantamiento realizado con el Sistema de Posicionamiento Global Diferencial es más preciso, con un error máximo de 0.674 metros en altimetría y 0.007 metros en planimetría, en comparación con el dron. En términos de costos, el levantamiento topográfico resultó ser un 21.25% más económico, ya que permitió cubrir un área mayor en menos tiempo

Cuba (2016), Se señala que la implementación de fotogrametría que emplea el Sistema Aéreo de pilotaje Remotamente (RPAS) reduce significativamente las horas de trabajo (eficiencia) en la cuantificación de la explotación de una cantera. Se encontró y comprobó que el método o técnica fotogramétrica con dron nos brinda un 179% más eficiencia que con el levantamiento topográfico convencional común mente aplicado. Además, se evaluó el impacto de la fotogrametría con RPAS en el rendimiento (eficacia demostrada) ante la cuantificación requerida en el proceso de la explotación de la cantera, donde se observó que el uso del dron es 100% eficaz, mientras que el método convencional contempla solo un 17% eficacia. Esto da como resultado que la eficiencia registrada empleando fotogrametría derivada del uso del sistema aéreo RPAS (aeronaves tripuladas a distancia) es un 83% mayor en comparación con el método convencional. En cuanto a los costos, el análisis mostró que el costo del levantamiento convencional fue de S/. 11,131.17, mientras que el fotogramétrico con dron tuvo un costo de S/. 6,775.83, lo que representa un ahorro de S/. 4,355.34. En resumen, se logra un ahorro económico del 39% utilizando el método fotogramétrico con drones.



2.1.3. Antecedentes Locales

Mamani y Platero (2021), evaluó la precisión de la información recopilada por el sistema aéreo de pilotaje Remoto RPAS de ala fija y ala rotatoria en el proceso de cálculo de volúmenes en contraposición con la data recopilada con una estación total, además de analizar el tiempo requerido para ejecutar este cálculo utilizando la información de los RPAS. Este estudio adoptó un enfoque relacional y empleó el coeficiente de correlación de Pearson como método estadístico de validación. Los resultados indicaron que la información o data obtenida de los RPAS, tanto de ala fija, así como rotatoria, mostraron un alto grado de precisión en el cálculo de volúmenes en comparación con la estación total, con una correlación mayor a 0.99990620. Además, se observó y comprobó que el tiempo necesario para el cálculo y obtención de volúmenes fue menor utilizando los RPAS en comparación el tiempo obtenido con el método convencional con estación total, con una diferencia de 3.7 horas para un área de 1.00 hectárea. En resumen, las diferencias en precisión entre la información de los RPAS y la estación total fueron mínimas, y el tiempo de cálculo de volúmenes fue significativamente menor con el uso de RPAS tanto de ala fija como rotatoria en comparación con la estación total

Chambilla y Mamani (2018), utilizaron tres instrumentos de medición topográfica con el objetivo general y primordial de comparar las discrepancias en las áreas de los predios catastrales para obtener mediciones precisas fiables. Los objetivos específicos incluyeron la comparación de áreas entre levantamientos realizados con estación total y drones, entre levantamientos convencionales con estación total y métodos de medición indirecta empleando imágenes satelitales SENTINEL 2A, y entre levantamientos fotogramétrico con drones e imágenes



satelitales SENTINEL 2A. Para lograr este objetivo, se llevó a cabo un procedimiento específico en varias etapas. En la primera etapa, se establecieron puntos de control geodésico con GPS Diferencial en modo estático en la zona de estudio. En la segunda etapa, se realizó un levantamiento topográfico con estación total utilizando el método de poligonal cerrada en 10 manzanas del centro poblado de Salcedo, sector Rinconada. La tercera etapa incluyó el levantamiento fotogramétrico con drones, utilizando el método de georreferenciación de ortofotos basado en los puntos de control geodésico establecidos previamente, seguido de un tratamiento en AutoCAD Civil 3D. En la cuarta etapa, se obtuvieron imágenes satelitales de la zona de estudio, que fueron rasterizadas y vectorizadas en software como Raster, ArcGIS y QGIS. Se concluyó que, de las 10 manzanas estudiadas, hubo diferencias en 7 entre los levantamientos con estación total y los levantamientos con drones, y en las 10 manzanas hubo diferencias entre los levantamientos con estación total e imágenes satelitales. Además, se observaron diferencias en las 10 manzanas entre los levantamientos con drones e imágenes satelitales.

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. GEODESIA.

Disciplina que se enfoca en el análisis de la configuración y medidas de la Tierra, abarcando también el estudio del campo de gravedad y la orientación terrestre en el espacio. Su aspecto crucial es determinar la posición de puntos de ubicación la superficie de la tierra a través de coordenadas (latitud, longitud, altura), materializadas en el Sistemas de referencia geográfica. Estas redes, formadas por puntos como vértices geodésicos, son la base de la cartografía



nacional, considerada "la infraestructura de las infraestructuras". La Geodesia proporciona los fundamentos físicos y matemáticos esenciales para áreas de estudio como la fotogrametría, topografía, cartografía, navegación, ingeniería civil, y sistemas de información geográfica, así como para aplicaciones militares (IGN, 2011).

2.2.1.1. Geodesia geométrica

Comprende mediciones de ángulos y distancias entre puntos en la superficie del planeta tierra, fundamentados en un modelo elipsoidal de referencia. Este elipsoide es esencial para establecer puntos clave en triangulaciones, ya sea en la Geodesia 2D o para análisis en coordenadas rectangulares cartesianas con la Geodesia 3D. Por ende, estos datos son cruciales para determinar la altitud del terreno en relación con los puntos superficiales, lo que implica comprender la estructura geométrica del elipsoide esférico. (Lerma, 2012, p. 4).

2.2.1.2. Clasificación de los puntos geodésicos

Para uniformizar el sistema de referencia geodésico, todos los trabajos de asignación de coordenadas geográficas estarán vinculados a la Red Geodésica Geocéntrica Nacional (REGGEN). Los puntos geodésicos se categorizan de la siguiente manera:

2.2.1.3. Punto geodésico orden "0"

Utilizado a nivel mundial, está enfoca en examinar el estudio de deformaciones regionales y globales, así como sus consecuencias geodinámicas. Se aplica en proyectos donde se demanda una precisión



máxima de 4,00 mm, con el propósito de ampliar el sistema de referencia geodésica Nacional. (Instituto Geográfico Nacional, 2015)(IGN, 2015a).

2.2.1.4. Punto geodésico orden “A”

Se aplica en tareas para establecer una red geodésica de referencia continental crucial. Se centra en registro de datos para analizar la deformidad local de la Tierra y trabajos que requieren alta precisión, máximo 6.00 mm. (IGN, 2015a).

2.2.1.5. Punto geodésico orden “B”

Se reserva para la ampliación de la red geodésica nacional referente, siendo esencialmente enlazada al sistema geodésico central. Se aplica en trabajos de ingeniería que demandan una alta precisión, así como en trabajos relacionados con la geodinámica, con un margen de hasta 8,00 mm. Las mediciones realizadas bajo esta categoría deben ser integradas en la red geodésica nacional y corregidas (IGN, 2015a).

2.2.1.6. Punto geodésico orden “C”

Designada a la instalación de PCT adicionales en zonas urbanas y rurales tiene como objetivo respaldar el desarrollo de labores de ingeniería básica y zonificación urbana y rural, con una precisión máxima de 10,00 mm. (IGN, 2015a).

La disposición de Bench Marks, o marcadores de referencia, debe realizarse cada 500 metros o según lo indicado por la entidad contratante. Estos marcadores deben basarse en las altitudes de los puntos de control vertical proporcionados por el Instituto Geográfico Nacional (IGN),



aunque se permite el uso de otros métodos si son aprobados por la entidad contratante (IGN, 2015b).

2.2.1.7. Sistemas Globales de Navegación por Satélite GNSS

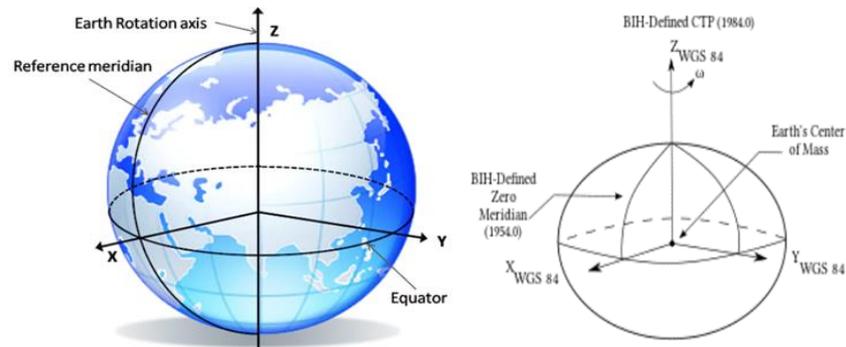
Se refiere a una red de satélites en órbita alrededor de la Tierra, transmitiendo datos de posición y velocidad a través de señales. Diseñados con el propósito de determinar coordenadas geográficas, estos sistemas utilizan una constelación de satélites artificiales ubicados aproximadamente a 20 000 km de altitud sobre la Tierra para ofrecer información tridimensional o efemérides (posición y velocidad del satélite) a toda su superficie terrestre (García, 2024).

2.2.1.8. Datum (WGS-84)

WGS84, abreviatura de Sistema Geodésico Mundial 1984, es un red mundial de coordenadas geográficas Que posibilita la ubicación de cualquier punto sobre la superficie del planeta utilizando 3 unidades proporcionadas(x,y,z), sin necesidad de otro punto de referencia adicional. Esta red de referencia fue desarrollada por la Agencia de Mapeo del Departamento de Defensa de los Estados Unidos (DMA) (IGN, 2015a).

Figura 1

Datum WGS84



Nota: en la figura se muestra el sistema de referencia del Datum WGS84 (Adenilson, 2024)

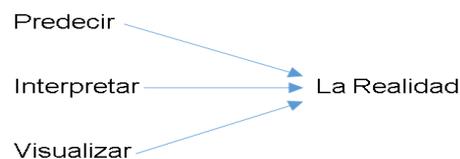
2.2.2. Modelos

Conceptualización y/o abstracción que permite entender y representar de la realidad utilizada para explicar objetos, procesos o sucesos (SIG, 2011).

Representación simplificada de la realidad en la que aparecen algunas de sus propiedades y que pueden utilizarse para:

Figura 2

Funcionalidad de los modelos



Nota: la figura muestra la funcionalidad de los modelos respecto de la realidad (SIG, 2011)

Un modelo es una representación simplificada de una parte de la realidad que se utiliza para estudiar y comprender de manera más accesible y clara la realidad empírica (Justel, 2010).

El modelo es de superior calidad si:

- Se incrementa la precisión en la medida
- Se incrementa la selección de los componentes
- Se incrementa la cantidad de componentes

2.2.3. Modelo Digital de Elevación (MDE)

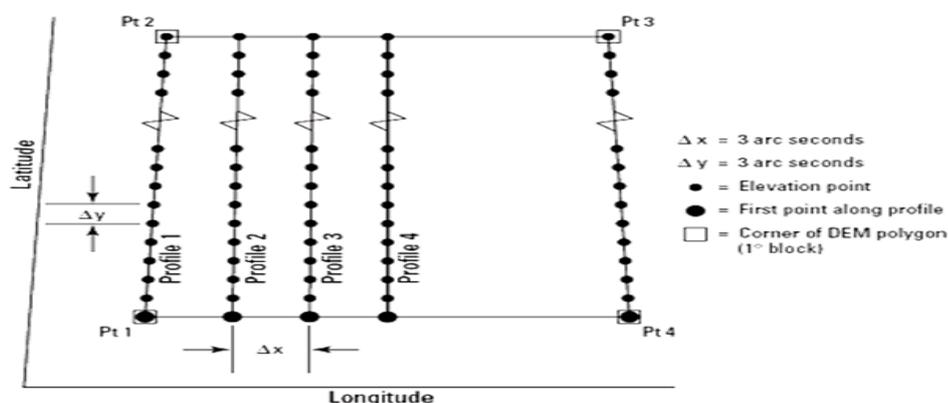
Agrupación de datos geospaciales que describen la superficie terrestre por encima y por debajo del nivel del agua, en relación con un datum vertical. Existen 3 tipos el Modelo Digital del Terreno (MDT); el Modelo Digital de Superficies (MDS) y Modelo Digital de Superficies Normalizado (MDSn), son la herramienta topográfica que ofrecen una representación tridimensional (Vidal, 2022).

Facilitan la representación del terreno, o relieve, mediante una distribución uniforme de puntos sobre la superficie del planeta Tierra (IGN-Argentina, 2020).

Siendo también una matriz de muestras de elevaciones para una serie de posiciones en el terreno a intervalos regularmente espaciados, como se muestra en la siguiente figura (Balasubramanian, 2017).

Figura 3

Modelo digital de elevación



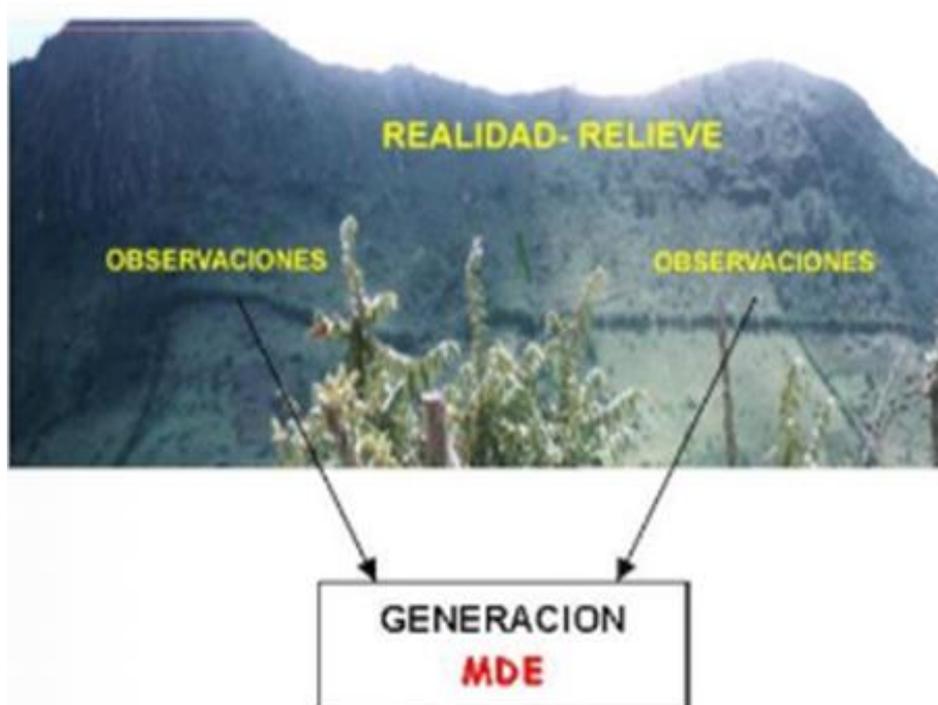
Nota: En la figura se muestra la representación gráfica de la matriz de elevaciones para una serie de posiciones (Balasubramanian, 2017).

Los datos para la representación de los MDE pueden ser vectoriales o raster (Burgos & Salcedo, 2014). Procuran representar más de cerca la verdadera forma del terreno (Quesada y Marsik, 2012).

Se generan mediante diversos procedimientos que difieren en técnica, precisión y costos. Una vez completado el MDE, su precisión puede ser evaluada utilizando estándares apropiados. Además, es factible mejorar la precisión mediante la detección de errores significativos, como se menciona en López (2000). O estableciendo métodos por el que, con datos de campo confiable y técnicas de interpolación, se logra incrementar la exactitud (Euillades y Vénere, 2003).

Figura 4

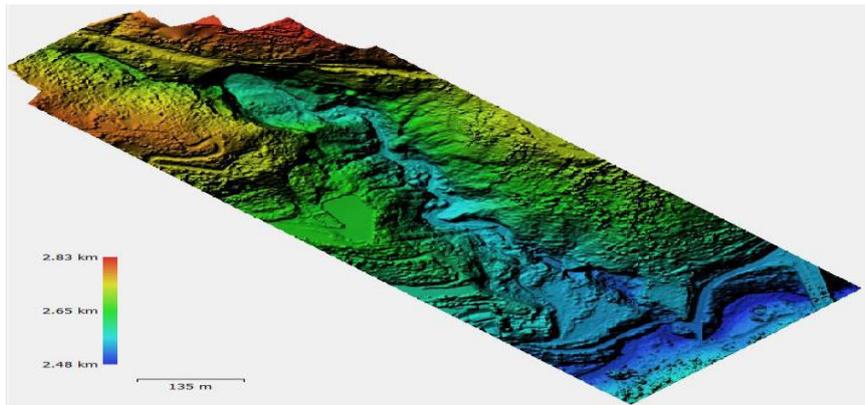
Concepto del MDE



Nota: En la figura se muestra de manera esquemática el concepto que conlleva a la generación de MDE (SIG, 2011).

Figura 5

Modelo Digital de Elevaciones (DEM)



Nota: Se muestra ejemplo de MDE, Elaboración: (Jarrín, 2020).

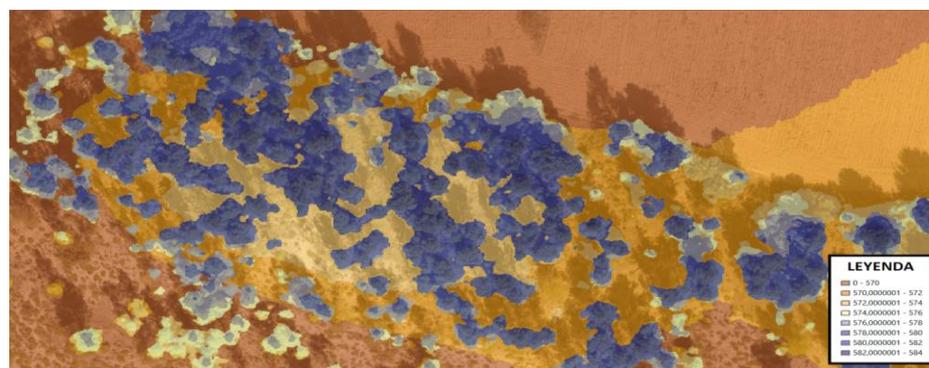
2.2.4. Tipos de Modelos digitales de elevación

2.2.4.1. Modelo digital de superficie MDS

Delimita la superficie de terreno de la zona de evaluación, sus cotas se basan en los componentes que cubren el nivel del piso como edificaciones, arboles, cables de transmisión eléctrica, etc. (Quesada y Marsik, 2012). Es decir, el MDS nos da las cotas de cada elemento. (IDS Topografía, 2020).

Figura 6

Modelo Digital de Superficie (MDS)



Nota: En la figura se muestra un ejemplo de MDS (IDS, 2020).



2.2.4.2. Modelo digital de superficie MDT

Un MDT o DTM por su acrónimo en inglés, superficie de elevación que ilustra el terreno sin cobertura, con respecto a un punto de referencia vertical estándar (Ecoscript, 2024). representación digital que excluye la vegetación y las estructuras, mostrando únicamente la capa superficial del suelo (IDS, 2020).

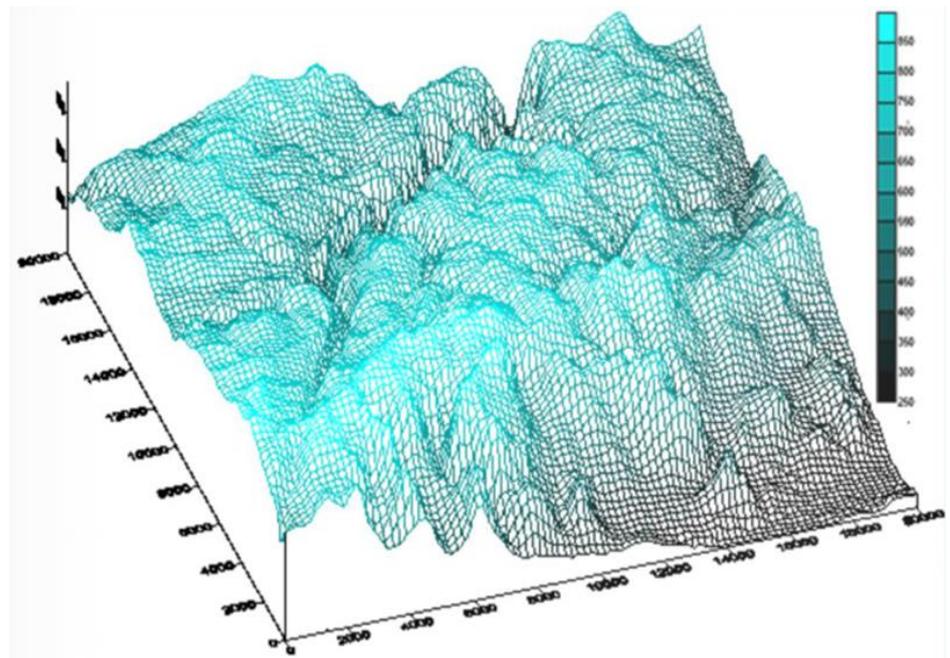
Representa una sección de la superficie terrestre en coordenadas tridimensionales X, Y, Z, detallando características geográficas naturales. Algunos (MDTs) emplean levantamientos batimétricos para describir elementos naturales como ríos y cuerpos de agua, incluyendo su profundidad, permitiendo representar tanto la superficie de terreno como el fondo de las masas acuáticas (Quesada y Marsik, 2012).

Estos modelos representados en planos mediante curvas de nivel es decir líneas con una misma elevación (Isohipsas), ayudan a interpretar la morfología del terreno (Becerra y Nieto, 2021).

Incluye los siguientes componentes que caracterizan una superficie topográfica: inclinación, dirección, curvatura, grado de pendiente, estructuras esqueléticas (depresiones, crestas, cimas, picos), entre otros. (Wiki, 2018).

Figura 7

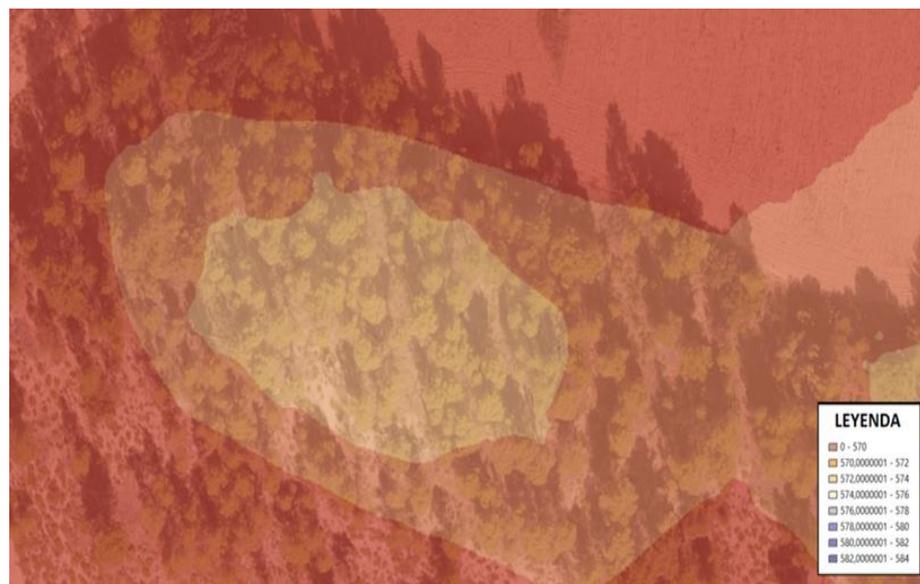
Malla tridimensional coordenadas x,y,z (MDT)



Nota: En la figura se muestra la representación tridimensional de la malla de posiciones de un MDT (Vidal Páez et al., 2019).

Figura 8

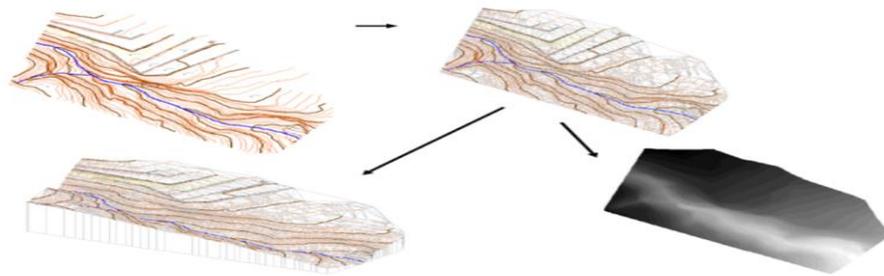
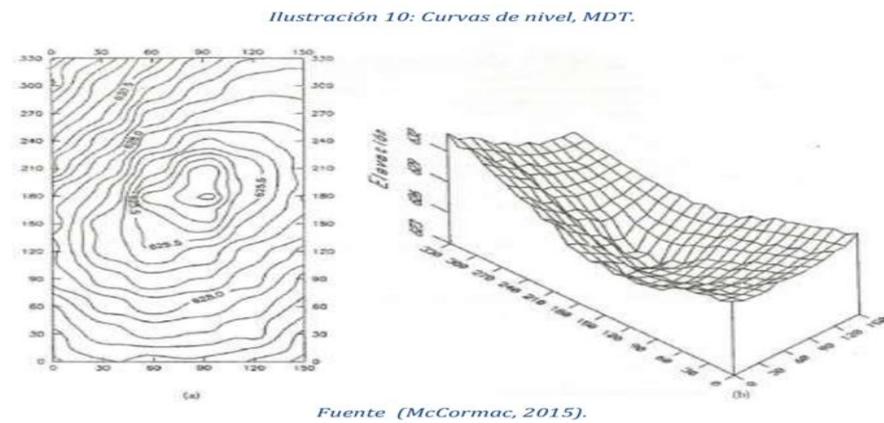
Modelo Digital de Terreno (MDT)



Nota: En la figura se muestra un ejemplo de MDT (IDS, 2020).

Figura 9

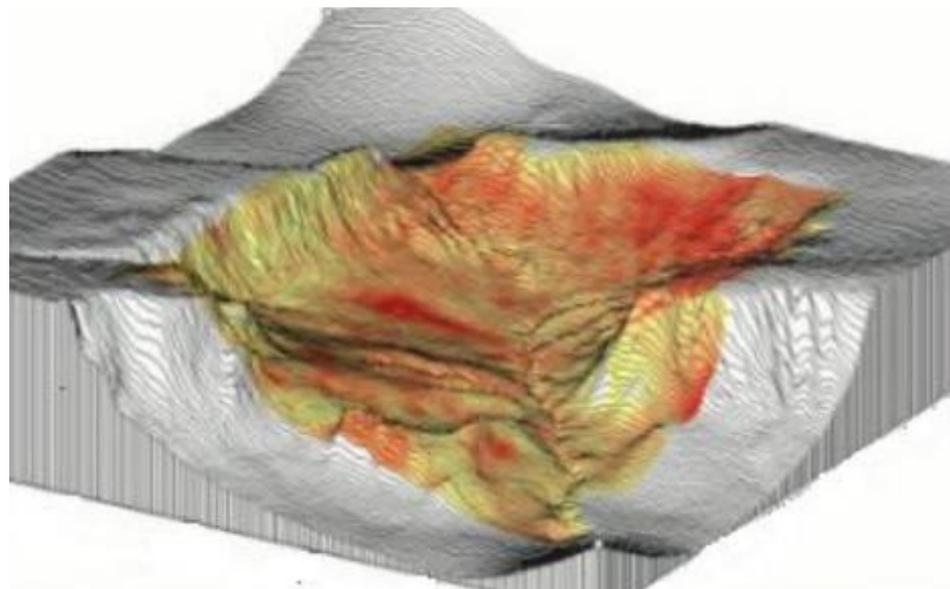
Curvas de nivel, (MDT)



Nota: En la imagen se muestra la representación del MDT mediante curvas de nivel y la malla de puntos tridimensional (TIM) que lo originan

Figura 10

Modelo 3D.



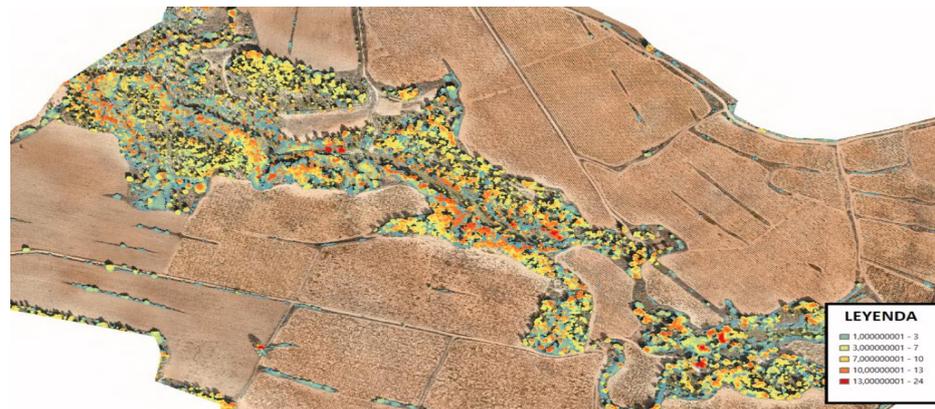
Nota: En la grafica se muestra la representación tridimensional del relieve terrestre (Arranz, 2010).

2.2.4.3. Modelo Digital de Superficies Normalizado (MDSn)

Se obtiene restando el Modelo Digital del Terreno (cota del suelo) del Modelo Digital de Superficies (que incluye la cota del suelo y la de los elementos); por ende, obtenemos una nueva representación rasterizada donde el dato no es el de la cota de la cima del árbol, sino la altura de árbol, y el resto de elementos construidos. Esto nos permite clasificar con precisión y por rangos los elementos que queremos reconocer (IDS, 2020).

Figura 11

Modelo Digital de Terreno (MDSn)



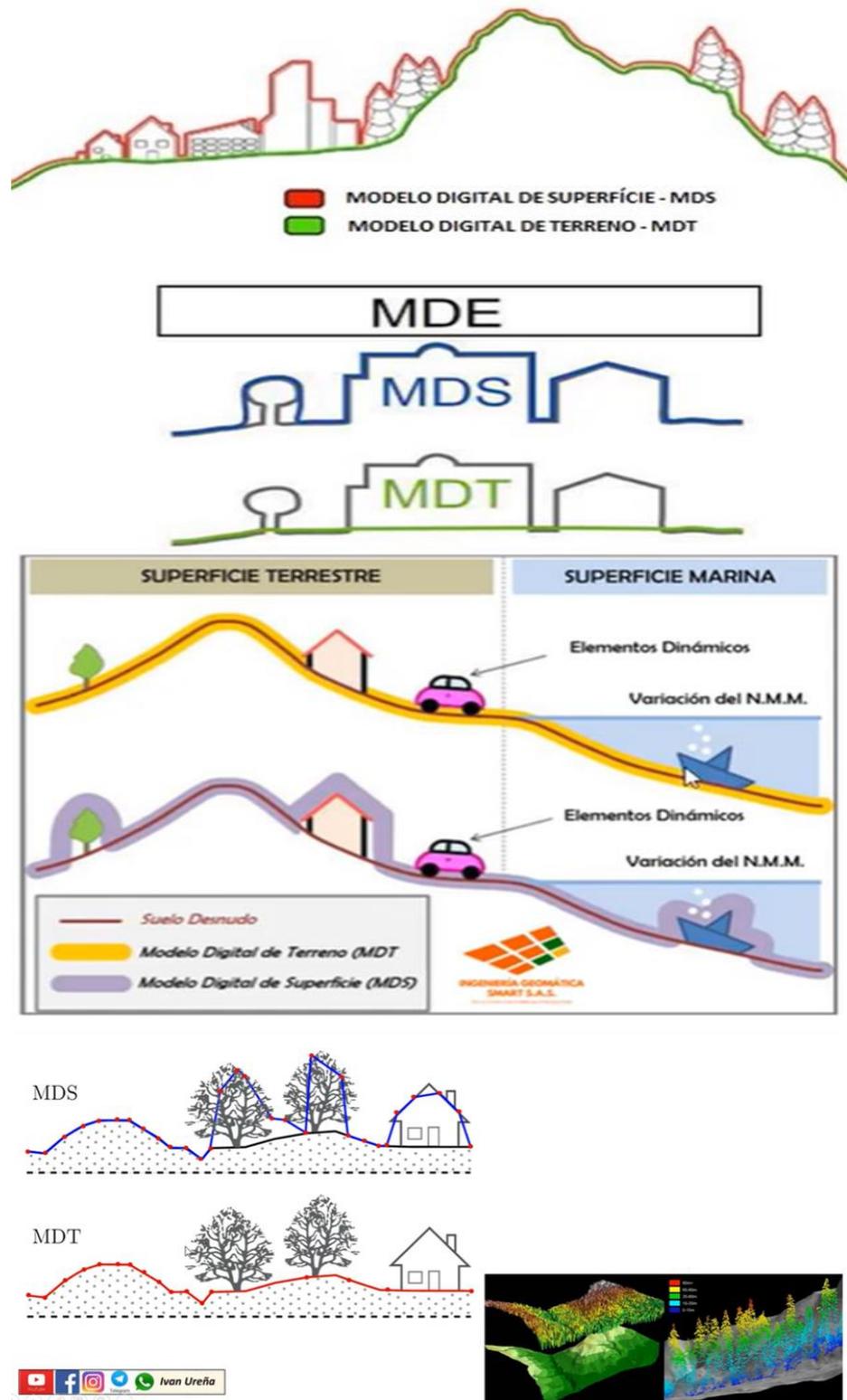
Nota: En la imagen se muestra un ejemplo de MDSn (IDS, 2020).

2.2.4.4. Diferencia entre MDS y MDT

Un DSM (Modelo de Superficie Digital) registra las elevaciones y características tanto naturales como artificiales existentes en el entorno. Por otro lado, un DTM (Modelo Digital del Terreno) excluye la vegetación y las estructuras, mostrando únicamente la capa superficial del suelo, complementa un DEM (Modelo Digital de Elevación) al incorporar elementos vectoriales del terreno natural, como ríos y crestas (Amazing City, 2024).

Figura 12

MDS versus MDT



Nota: En los gráficos se representa los dos tipos de MDE, el MDS y el MDT (Cpetecnologia, 2014).

En resumen, los modelos digitales de elevación, terreno y superficie son herramientas esenciales para analizar, comprender y visualizar las superficies terrestres desde una perspectiva digital.

2.2.5. Estructura de datos de los MDE (MDT y MDS)

Se categorizan en: (Justel, 2010).

- Geométrico, fundamentado en elementos vectoriales:
 - Isohipsas: polilíneas con elevación continua y puntos acotados

Figura 13

Estructura Modelo de Isohipsas

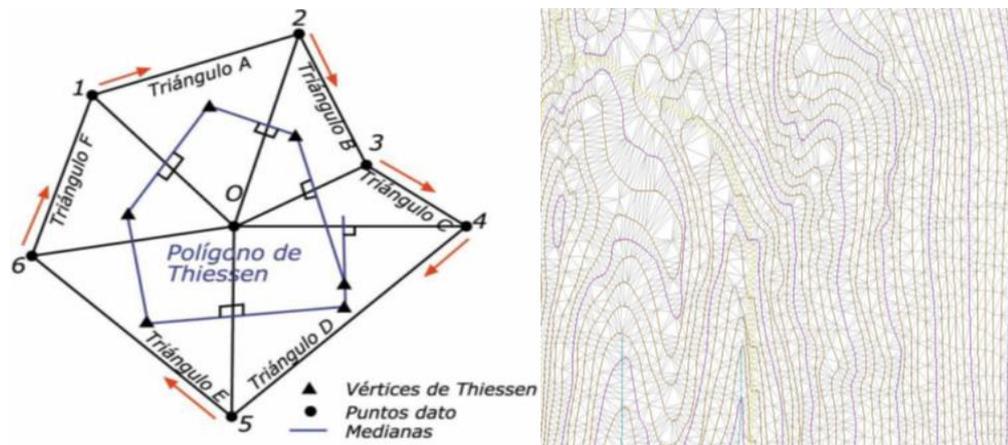


Nota: En la grafica se muestra la representación del relieve mediante curvas de nivel (Justel, 2010).

- TIN: Red de triángulos irregulares.

Figura 14

Estructura modelo de Triangulación y TIM

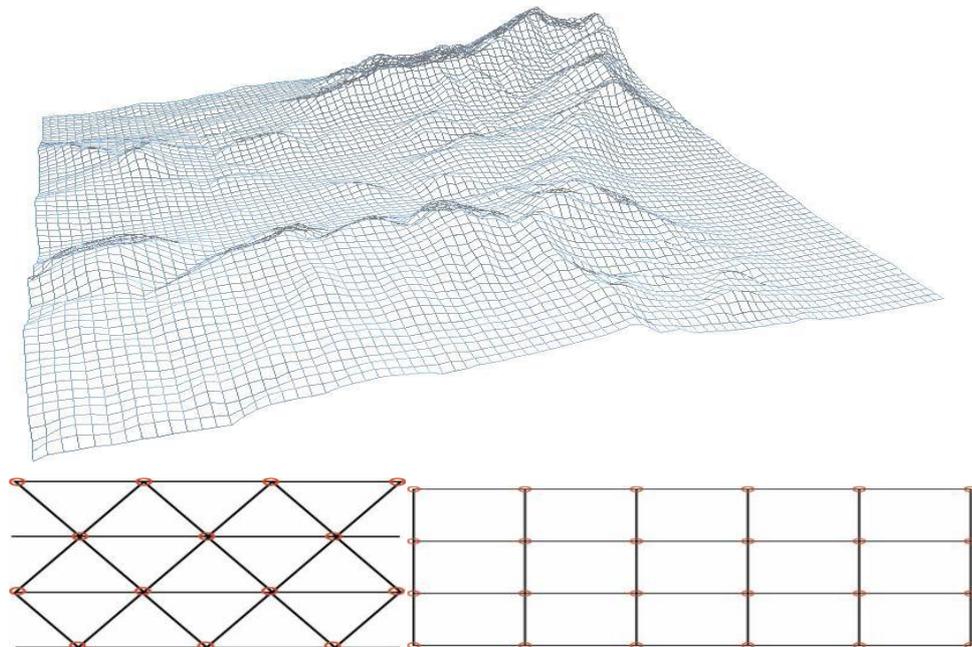


Nota: En los dibujos se muestra la triangulación de delaunay y ejemplo de TIM (Justel, 2010).

- Raster, fundamentado en ubicaciones particulares:
 - DEM: cotas dispuestas sobre una red rectangular

Figura 15

Estructura modelo de mallas regulares



Nota: En la figura se muestra el DEM expresado mediante mallas regulares (Justel, 2010).

- Quadtree es: matrices jerárquicas.

Figura 16

Estructura modelo de Quadtree



Nota: En la figura se muestra el DEM expresado mediante matrices jerárquicas (Justel, 2010).

2.2.6. Fuentes de datos de los MDE (MDT y MDS):

Los modelos previamente mencionados, se generan mediante métodos o técnicas de medición directa (Topografía convencional, equipos GNSS, LiDAR y RADAR) o indirecta a través de cálculos fotogramétricos basado en fotografías aéreas o imágenes satelitales. Asimismo, desempeñan un papel fundamental como componente intermedio en los procesos fotogramétricos (Wiki, 2018).

Los principales métodos para generar estos modelos son:

- Altimetría: altímetros trasladados en naves que determinan las discrepancias de altitud entre la superficie y el vehículo transportador.
- Interferometría de imágenes de radar: sonda RADAR que emite impulsos electromagnéticos que se reflejan en la superficie terrestre y son recogidos



de vuelta. A partir del tiempo que tarda en volver y su velocidad, se puede calcular la distancia entre el satélite y el terreno.

Para generar un MDE mediante este método, es requerido emplear 2 imágenes radar capturadas de manera simultánea. Por ende, es menester el uso de un radar de apertura sintética, como Shuttle Radar utilizado en Topography Mission.

- Topografía convencional.
- Restitución fotogramétrica.

En la fotogrametría tradicional se utiliza mínimo 2 fotografías con puntos de vista distintos, bajo los principios del funcionamiento de la visión humana, conforme las imágenes colocadas utilizando estereoscopios, es posible obtener una visión tridimensional, debido a los puntos de vista separados.

La fotogrametría, ya sea utilizando imágenes aéreas, satelitales o tomadas por drones, es ampliamente reconocida por varios autores como el enfoque convencional para la obtención de un Modelo Digital de Elevación (MDE). La precisión depende de la clase y calidad del sensor, la altura del vuelo, la resolución de las fotos y la calidad de los puntos de control. Una limitación significativa de cara a la tecnología LiDAR es que no puede medir debajo de la cobertura de los árboles, restringiéndose a lo visible e interpretable en las fotos.

- La tecnología LiDAR (Light Detection and Ranging) utiliza un dispositivo que mide la longitud a un objeto o superficie mediante un haz láser pulsado. Estos dispositivos suelen instalarse en plataformas aéreas para capturar datos de la superficie terrestre.



2.2.7. Métodos o técnicas de medición directa

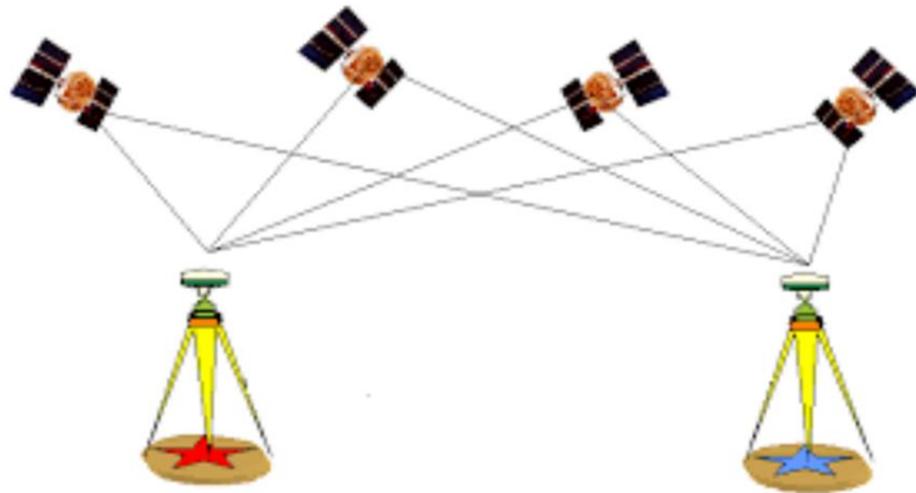
2.2.7.1. Levantamiento Topográfico equipos GNSS

El análisis y la caracterización del relieve terrestre de una zona en concreto se realiza mediante equipos sofisticado que capturan información tridimensional, transformando las características de la superficie en una nube de puntos para su visualización y representación. Un proyecto topográfico necesita varios cálculos y procedimientos para georreferenciar la información obtenida con equipos GNSS (Sistema Satelital de Navegación Global). Entre los métodos utilizados está el método estático, que posiciona dos o más receptores simultáneamente durante un periodo determinado (Páez et al., 2019).

El método implica hacer observaciones simultáneas desde 1 o más estaciones perennes con coordenadas acreditadas. Estas estaciones se usan como referencia fija para uno o más puntos cuyas coordenadas son desconocidas. Se recolecta información durante periodos mínimos de observación, permitiendo la generación de vectores que miden ángulo, distancia y diferencia de elevación, así como Conjuntos de líneas base que conectan estaciones, satélites y puntos de referencia posicionados. Este proceso ayuda a eliminar los errores sistemáticos al medir los puntos desconocidos.

Figura 17

Esquema de posicionamiento estático diferencial



Nota: En la figura se representa el posicionamiento estático diferencial (Vidal Páez et al., 2019).

Método estático rápido: El método estático rápido implica una captura de datos acelerada que luego se procesa usando una base fijada por el método estático diferencial o una estación de seguimiento perenne, logrando así precisiones milimétricas

Método RTK: Acrónimo de Real Time Kinematic (Cinemático en tiempo real); se caracteriza por su rápida recepción de datos, con un receptor móvil vinculado a una base estática que corrige en tiempo real los detalles de los datos levantados.

Este método involucra posicionar un receptor GNSS conocido como base en puntos con coordenadas ya establecidas, que transmite en tiempo real datos de rectificaciones diferenciales a otro receptor GNSS llamado Rover. Este receptor Rover recibe las correcciones y obtiene posiciones de alta precisión instantáneamente mientras se desplaza por cada punto del terreno que se está levantando (Vidal Páez et al., 2019).



2.2.8. Métodos o técnicas de medición indirectas

2.2.8.1. Levantamiento mediante el Sistemas de aeronaves pilotadas a Distancia (RPAS)

Drones: Aguilera (2019) describe al DRON como una aeronave capaz de volar sin piloto a bordo, conocido como vehículo aéreo no tripulado; vienen en diversos tamaños y se utilizan para diferentes propósitos. Aunque estos dispositivos han existido durante bastante tiempo, su fabricación es costosa y anteriormente no ofrecían todas las funcionalidades actuales. Una de sus características más notables es que el vuelo es controlado remotamente, en gran parte a través de software, más que por un piloto en tierra (GCF, 2018).

Existen dos tipos principales de drones: los que tienen forma de avión y los que se asemejan a un helicóptero, capaces de mantenerse estáticos en el aire. Originalmente desarrollados para fines militares, están equipados con cámaras, GPS y varios sensores. Sin embargo, su uso se ha expandido, ahora se comercializan para una variedad de aplicaciones como la investigación científica, la fotografía (fotogrametría) y el video, así como para entretenimiento. Los drones son herramientas poderosas que ofrecen mejoras significativas en eficiencia y seguridad para diversos sectores, incluyendo la topografía y la cartografía. Permiten registrar datos desde lo alto, integrándose convenientemente en los flujos de trabajo de la topografía para ejecutar labores de reconocimiento, fotogrametría, cartografía 3D, levantamientos topográficos, etc. (Knisely, 2020).

Los levantamientos topográficos son fundamentales para la toma de decisiones en una diversidad de contextos, desde la planificación de proyectos de construcción hasta el diseño y mantenimiento de infraestructuras. Por ende, un levantamiento topográfico con dron implica la realización de estas mediciones desde el aire utilizando un dron como herramienta (Knisely, 2020).

En terrenos complicados, permiten prescindir del acceso personal a lugares de complicado acceso o peligrosos para medirlos. Así mismo, mientras que los métodos convencionales de topografía requieren una planificación extensa, preparación y tiempo para recopilar mediciones, los drones proporcionan resultados comparables en lapsos de tiempo considerablemente menores. La topografía con drones ofrece una variedad de datos útiles en diferentes sectores, dependiendo de los sensores y el software utilizados, 2d orthomosaic map, 3d. orthomosaic map, 3d models, thermal map, lidar point cloud, multispectral map (Knisely, 2020).

Figura 18

Vuelo fotogramétrico



Nota: En el grafico se muestra un ejemplo del plan de vuelo fotogramétrico con dron (Knisely, 2020).



2.2.8.2. Fotogrametría Aérea

La fotogrametría es la técnica utilizada para examinar y determinar con precisión la forma, ubicación y dimensiones de objetos en el espacio, especialmente mediante mediciones tomadas en una o varias fotografías (Quirós, 2014).

También destaca que la fotogrametría aérea implica obtener datos, mediciones y Atributos físicos de un área geográfica mediante vuelos realizados con drones o RPAS. Durante estos vuelos, la aeronave no tripulada captura fotografías a alturas específicas, las cuales se procesan digitalmente para representar el terreno en planos. La fotogrametría se define como el uso de fotografías aéreas para crear mapas topográficos. Este proceso implica obtener magnitudes precisas a través de imágenes de la superficie capturadas con cámaras aéreas métricas (IGN, 2011).

2.2.8.3. Vuelo Fotogramétrico

El IGN (2011) señala que, durante un vuelo fotogramétrico, se busca obtener una vista vertical de la superficie o área de interés, con una cobertura estereoscópica completa, asegurando que cada margen sea capturado para garantizar la geometría precisa del resultado final.

El IGN (2011) especifica los pasos para el vuelo con dron que son los siguientes:



2.2.8.4. Proyecto de vuelo

- El proyecto de vuelo detalla con precisión los puntos de captura de cada fotografía aérea, así como todos los detalles relativos a la configuración y distribución de los equipos y sensores involucrados.
- El plan de vuelo se creará utilizando información cartográfica y se presentará en formato CAD. Este plan servirá como base para todo el proceso de planificación del vuelo y contendrá toda la información necesaria.
- Fichero de texto, que contenga los siguientes campos delimitados por espacios:
 - ID Foto
 - ID Pasada
 - X (UTM)
 - Y (UTM)
 - H (altura Ortométrica)

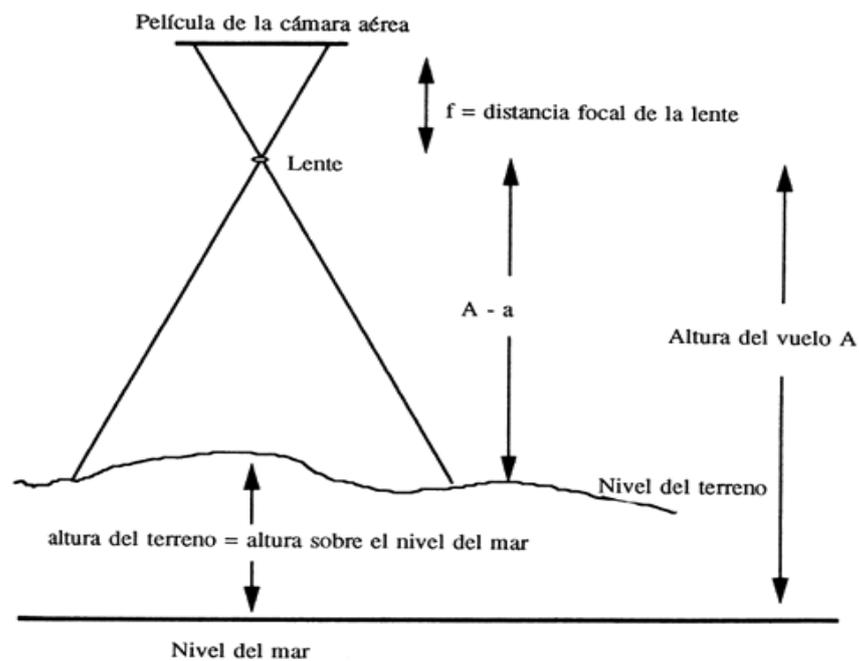
2.2.8.5. Altura de Vuelo

- Se calculará la altura de vuelo de cada pasada para satisfacer ambas condiciones al mismo tiempo:
 - La dimensión del píxel medio para todas las líneas será de 0.25 m. \pm 10%.
 - No se contemplará más de un 10 % de fotogramas en cada ida, con píxel promedio del fotograma superior que el GSD nominal. En

zonas montañosas, estos porcentajes podrán cambiar, previa validación, de la planificación de vuelo por la Dirección Técnica.

Figura 19

Altura de vuelo en fotogrametría



Nota: En el gráfico se representan los elementos que conforman el vuelo. Fuente: (Dale, 1996).

2.2.8.6. Línea de vuelo

- La suma de las correcciones de curso del avión, la deriva y el cabeceo no debe producir una deriva aparente de más de 10° en fotografías consecutivas.
- La deriva aparente se refiere al ángulo entre la dirección de vuelo y la línea que conecta el punto principal y su imagen conjugada en la fotografía adyacente de la línea de vuelo.
- Para cada línea de vuelo, los efectos de la deriva, no excederán en promedio 5° y 10° entre dos exposiciones continuas.



- Se rechazará un bloque de fotografías aéreas si más del 10% de las líneas y/o fotografías presentan una variación que supere esta tolerancia.
- Durante la captura de fotografías, se requiere que la cámara sea compensada por la deriva del avión, con un error máximo de 3°.
- Las líneas de vuelo deben tener ejes paralelos, y la línea que conecta los puntos principales de los fotogramas extremos de cada línea no debe formar un ángulo mayor a 5 grados con las líneas adyacentes.
- Se deben evitar, en la medida de lo posible, las interrupciones en las líneas de vuelo. Sin embargo, si resultan inevitables, la línea completa formada por los segmentos individuales debe cumplir con los estándares establecidos en el documento.
- En las interrupciones de las líneas de vuelo, se requerirá superponer al menos cuatro fotografías para garantizar la creación de un modelo estereoscópico completo o de enlace.
- A menos que las características geográficas lo requieran, las líneas de vuelo se dirigirán de norte a sur, asegurándose de que esta orientación permita cumplir con los parámetros de GSD.
- Debido a las capacidades actuales de la tecnología, que incluyen vuelos asistidos por GPS para la navegación y el registro de puntos principales de las fotografías, se recomienda incluir líneas transversales en el plan de vuelo. Esto ayuda a reducir la necesidad de puntos de control terrestre y permite un ajuste más preciso.

2.2.8.7. Cobertura

- El solapamiento lateral promedio entre pasadas adyacentes es del 30% +/- 5%. En ningún caso, el solapamiento transversal promedio será inferior al 25%.
- El solapamiento longitudinal promedio entre fotogramas sucesivos es del 60% +/- 3%. En ningún caso, el solapamiento transversal promedio será inferior al 57% y se garantizará que no haya áreas sin cobertura estereoscópica.
- Es importante evitar la interrupción de las líneas de vuelo. Si ocurre, se recomienda continuar la línea utilizando al menos las cuatro fotografías anteriores a la última imagen donde se produjo el corte, garantizando así la continuidad de la línea.
- En situaciones donde se necesite llenar huecos o continuar líneas de vuelo, es importante que las fotografías complementarias se tomen con parámetros similares a las fotos adyacentes y condiciones de iluminación que se asemejen a la línea original, siempre que sea posible.
- Para garantizar la cobertura, se recomienda que los fotogramas que limiten al norte o al sur de la zona de trabajo tengan un 30% de su dimensión transversal fuera de los límites.

2.2.8.8. Productos de la Fotogrametría

De acuerdo con (Rodríguez, 2022), la fotogrametría permite obtener los siguientes productos:

Las imágenes aéreas, capturadas por el dron durante el vuelo planificado, son archivos JPEG que tienen una orientación tridimensional



en el espacio. Durante el proyecto piloto, se crea una Ortofoto a partir de las imágenes aéreas capturadas durante el vuelo planificado, asegurándose de que la cobertura incluya información de todos los puntos de control. Durante el procesamiento, se ajusta la posición para crear un modelo digital del terreno y se muestra una vista general del proyecto completo. Si hay múltiples planes de vuelo, estas imágenes pueden procesarse juntas, ya que comparten características similares, lo que permite producir una sola Ortofoto del proyecto. El primer producto obtenido mediante drones es la nube de puntos, que se genera a partir de las fotografías capturadas durante el vuelo. Estas imágenes se procesan para obtener puntos con información de orientación tridimensional en el espacio, lo que permite crear una representación digital precisa de la superficie real con una precisión milimétrica. Un Modelo de Elevación Digital (DEM) es un modelo digital filtrado que incorpora puntos que no pertenecen al suelo, como edificaciones, lo que produce un modelo de elevación digital continuo. Se crea un DEM al eliminar la vegetación y cualquier estructura creada por humanos de los datos de elevación. Los modelos de elevación de terreno desnudo tienen aplicaciones específicas en la planificación hidrológica, de suelos y uso del terreno. Un Modelo de Superficie Digital (DSM) es un modelo que representa las características de la superficie del proyecto, incluyendo objetos que forman parte de ella, tanto naturales como artificiales, como edificaciones y otros elementos creados por el hombre.



2.2.8.9. Agisoft Matashape

De acuerdo con Rodríguez (2022), el software puede generar ortofotos de alta resolución, así como modelos digitales de elevación (DEM) y modelos digitales del terreno (DTM) detallados y georreferenciados. Su interfaz fácil de usar permite que cualquier usuario pueda administrar y procesar imágenes aéreas capturadas por RPAS para producir datos de fotogrametría de calidad profesional en diversas áreas técnicas. Entre sus características principales, según el sitio web de la empresa peruana ACRE Group, se incluyen las siguientes:

- El proceso de mapeo se apoya en tecnologías avanzadas desarrolladas por Agisoft, lo que asegura un procesamiento rápido y resultados precisos, con una precisión de hasta 3 cm para los puntos de referencia y hasta 1 mm para las imágenes de corto alcance. Agisoft Metashape tiene la capacidad de procesar grandes cantidades de imágenes sin necesidad de enviar datos a terceros, lo que lo convierte en una solución adecuada para el procesamiento de información confidencial.
- Utilizando Agisoft PhotoScan, se pueden reconstruir polígonos de alta precisión y modelos digitales de superficie (DSM), lo que permite obtener mediciones exactas de volumen y área. Además, el software permite el procesamiento de imágenes multiespectrales y la medición del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), lo que lo convierte en una herramienta invaluable para la agricultura de precisión.
- Visualización La capacidad de procesamiento en red de Agisoft PhotoScan le permite reducir efectivamente el tiempo estimado al



procesar grandes cantidades de datos. La optimización jerárquica ofrece a las ciudades un patrón de modelo de mosaico y una escala de control, permitiendo que todas las actividades de big data sean comprensibles y se integren con los sistemas de información geográfica (GIS)

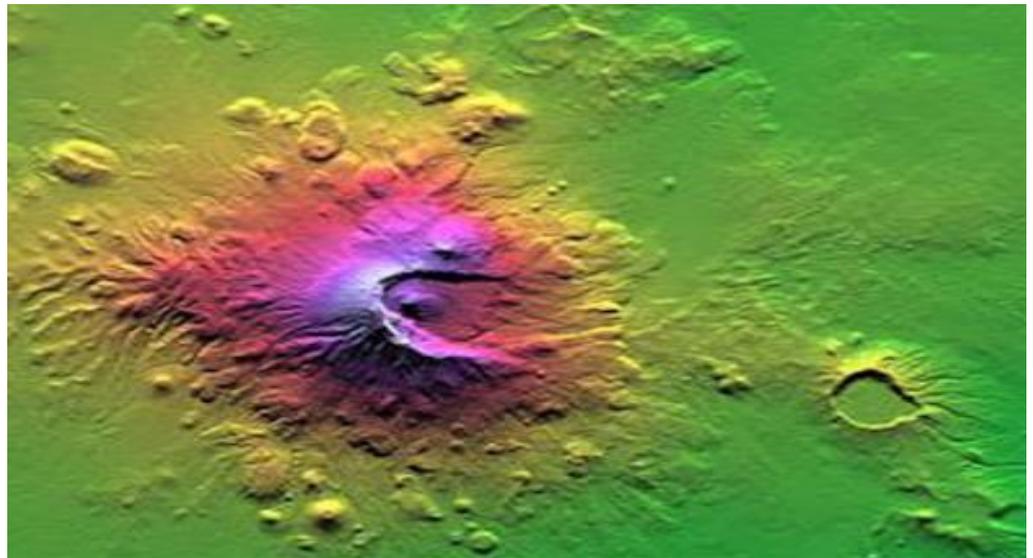
2.2.8.10. Misión Topográfica Shuttle Radar SRTM (conocido como la misión de la NASA)

SRTM, que significa "Shuttle Radar Topography Mission", fue un proyecto llevado a cabo por la NASA en colaboración con la Agencia Nacional de Inteligencia-Geoespacial, así como las agencias espaciales de Alemania e Italia. Este proyecto consistió en un escaneo total de la superficie terrestre utilizando interferometría de radar (Vidal, 2022). De acuerdo con Espinoza (2017), el SRTM, abreviatura de "Shuttle Radar Topography Mission" (Misión de Topografía de Radar de Transbordador), es un proyecto diseñado para crear un modelo de elevación digital global, abarcando desde 56°S hasta 60°N, con el fin de generar una base de datos completa de mapas topográficos digitales de alta resolución de la Tierra.

La "Space Shuttle Radar Topography Mission" (SRTM) utiliza antenas de radar para capturar datos y generar un modelo de elevación digital mediante la técnica de apertura sintética interferométrica (inSAR), que permite penetrar la cubierta del dosel hasta llegar al suelo (Ariza López, 2002).

Figura 20

Señales de radar



Nota: En la figura se muestra la imagen satelital del SRTM (Vidal, 2022).

Los datos de elevación digital del SRTM, inicialmente producidos por la NASA y luego por el CIAT, representan un gran avance en la cartografía digital global y mejoran significativamente la accesibilidad a datos de elevación de alta calidad (Sal et al., 2017).

Actualmente, estos datos se distribuyen de forma gratuita a través del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) y se pueden descargar desde el National Map Seamless Data Distribution System o desde el sitio FTP del USGS (R. Santos, B. D. Valeriano, R.R. Silvestre, 2017).

Del Río Santana et al. (2020) menciona que el SRTM consiste en:

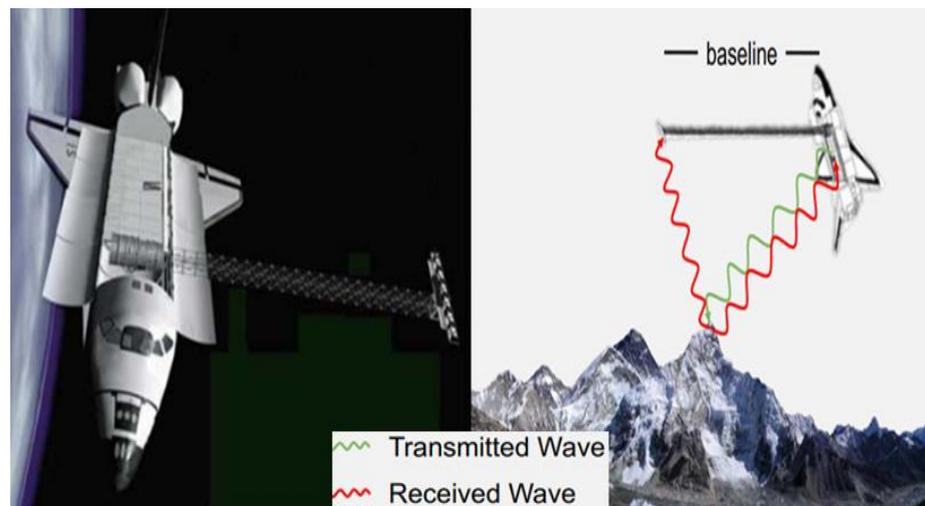
- Durante la misión STS-99 en febrero de 2000, el transbordador espacial Endeavour llevó un sistema de radar modificado como parte del SRTM. Este sistema utilizaba dos reflectores de antena de radar, separados por

60 metros mediante un mástil que se extendía desde el transbordador, para adquirir datos estereoscópicos de elevación del terreno. La técnica combinaba un software interferométrico con un radar de apertura sintética (SAR) de ancho "sintético".

La Misión de Topografía de Radar del Transbordador Espacial (SRTM) emplea antenas de radar para recopilar datos y crear un modelo digital de elevación utilizando la técnica de interferometría de apertura sintética (inSAR). Esta técnica permite obtener datos del suelo al penetrar la cubierta del dosel (Sal et al., 2017).

Figura 21

Señales de radar



Nota: En la figura se muestra la señal de radar que se transmite y recibe en la misión SRTM (Vidal, 2022).

- El modelo de elevación se estructura en píxeles de 1° de latitud y 1° de longitud, nombrado según su esquina suroeste. La resolución de celda de los datos originales es de 1 segundo de arco en los Estados Unidos y de 3 segundos de arco en otras partes del mundo. Cada división de tres

segundos de arco consta de 1201 filas, y cada fila contiene 1201 celdas de 16 bits en doble secuencia.

Tabla 1

Datos del SRTM

Tamaño del mosaico 1° por 1°	
Tamaño de Píxel	1 segundo de arco (~30 metros) 3 segundos de arco (~90 metros)
Coordenadas Geográficas	Latitud y Longitud Geográficas
Formato de Salida	DEMS: .HGT, entero de 16 bits con signo, en unidades de metros verticales Número: .NUM
Referencia Geoide	WGS84/EGM96
Valores DN Especiales	N/A: no hay espacios vacíos en la versión 3
Cobertura	60°N a 56°S de latitud Estados Unidos y territorios África.

Nota: En la figura se muestra el Producto de datos del SRTM V 3, (Vidal, 2022).

Los datos SRTM ofrecen un Modelo Digital de Elevación (MDE) con una resolución aproximada de 3 segundos de arco, lo que equivale a una resolución de unos 90 metros. Además, se ha creado una versión con una resolución de aproximadamente 1 segundo de arco, pero esta solo está disponible para Estados Unidos, con una resolución aproximada de 30 metros. Es importante que el error vertical del MDE sea inferior a 16 metros (Sal et al., 2017).



2.2.8.11.La primera versión pública de SRTM, lanzada a fines de 2005

Consistió en datos reeditados fuera de los Estados Unidos para su lanzamiento al público con una resolución de aproximadamente 3 segundos de arco, lo que equivale a unos 90 metros.

2.2.8.12.La segunda versión pública de SRTM, lanzada en septiembre de 2014

Anunció que los datos de alta nitidez obtenidos por la NASA en la misión SRTM del año 2000 estarían disponibles para Estados Unidos al año siguiente. Estos nuevos datos estarían al alcance con una resolución de aproximadamente 1 segundo de arco, que equivale a unos 30 metros.

2.2.8.13.La tercera versión pública de SRTM, denominada SRTM V3

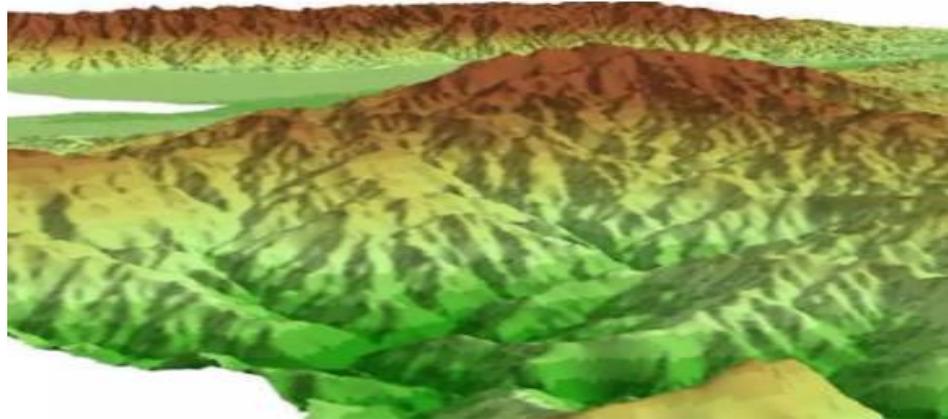
Ha sido lanzada por la NASA, corrigiendo los vacíos en los modelos de elevación digital generados por la misión SRTM. Se rellenaron los vacíos utilizando datos de los modelos de elevación ASTER en la mayoría de las zonas afectadas. SRTM + está disponible en resoluciones de 90 y 30 metros.

2.2.8.14.La versión 4 de SRTM

Utiliza una técnica de interpolación y modelos de elevación digital adicionales para completar la información faltante.

Figura 22

SRTM – Versión 4



Nota: En la figura se muestra la versión alternativa del SRTM de 3 arco segundos (90 metros).

2.2.8.15. El Futuro de la Misión SRTM

El proyecto SRTM ha evolucionado y ha adoptado un nuevo nombre. A partir de la versión SRTM3, los modelos digitales serán mejorados de manera continua y se conocerán como NASADEM, que significa Modelo de Elevación Digital de la NASA.

Actualmente, ingenieros y científicos están llevando a cabo un completo procesamiento de los datos originales del radar SRTM con el objetivo de crear un Modelo de Elevación Digital Mejorado conocido como NASADEM. Este proyecto se completó a principios de 2017.

Los modelos de elevación generados a partir de los datos SRTM son empleados en software GIS y están disponibles de forma gratuita en línea. Su extensión (hgt) es compatible con varios programas informáticos. El proyecto SRTM es una colaboración internacional entre la Agencia Nacional de Inteligencia Geoespacial (NGA) y la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA).

2.2.8.16. Software QGIS

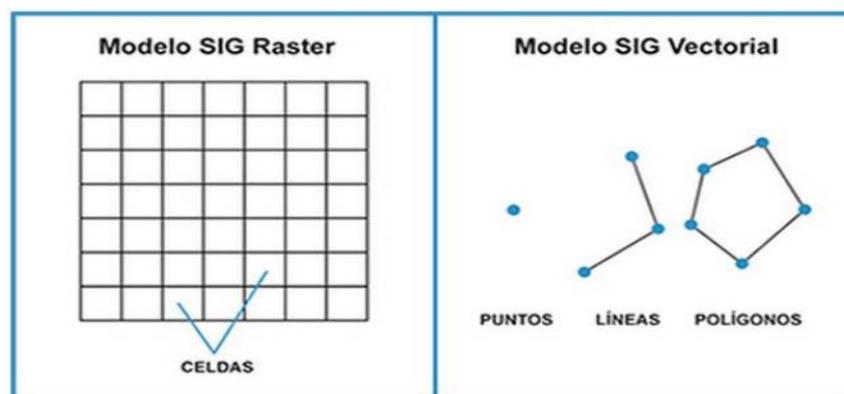
QGIS es una herramienta profesional de Sistemas de Información Geográfica (SIG) de código abierto, con licencia GNU - General Public License. Es un proyecto oficial respaldado por la Fundación de Software Geoespacial de Código Abierto (OSGeo). Compatible con múltiples sistemas operativos como Linux, Unix, Mac OSX, Windows y Android, admite una amplia gama de formatos de datos y funcionalidades tanto vectoriales como ráster. Ofrece una buena estabilidad y velocidad de procesamiento.

2.2.8.17. Clasificación general de la Información Geográfica:

- **Vectoriales:** representan elementos de la naturaleza abstractos utilizando coordenadas X, Y, esto es, a través de vectores.
- **Ráster:** consisten en imágenes formadas por una cuadrícula de celdas llamadas píxeles, cada uno con un valor numérico asociado que representa su atributo temático., (SGM, 2016).

Figura 23

Diferencia entre el Modelo Vector y Ráster



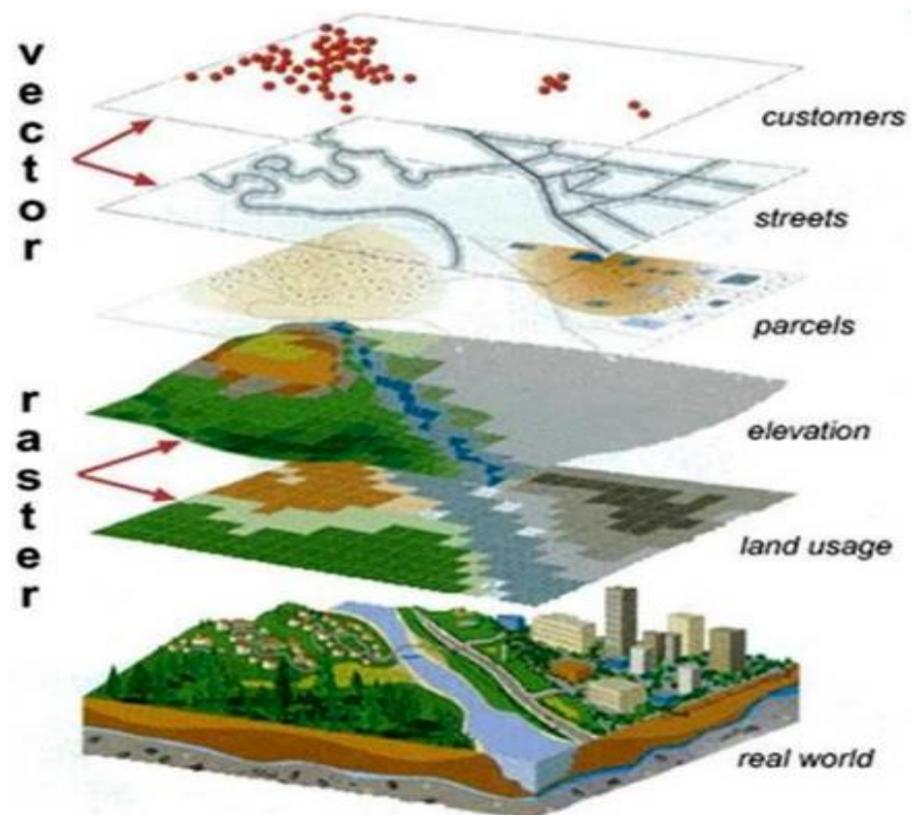
Nota: En la figura se muestra el modelo vector y el modelo ráster, (SGM, 2016).

Se cuentan con tres topologías principales para la representación de la realidad:

- **Puntos:** Para representar elementos con una ubicación única en tres dimensiones (X, Y, Z), como aeropuertos, poblados, pozos, entre otros.
- **Líneas:** Una secuencia de puntos o conjunto de coordenadas X, Y, Z que representan objetos usualmente alargados, como carreteras, ríos, estructuras, entre otros.
- **Polígonos o áreas:** Un conjunto de puntos X, Y, Z donde el punto inicial y el punto final son idénticos, utilizado para representar parcelas, municipios, áreas urbanas, litología, entre otros.

Figura 24

Organización del QSIG en capas



Nota: En la figura se muestra del modelo Vector y Ráster, (SGM, 2016).



2.2.8.18. Aplicaciones:

- Creación de curvas de nivel.
- Creación de mapas de pendiente.
- Creación de mapas en relieve.
- Planificación de vuelos en 3D.
- Rectificación geométrica de fotografías aéreas o de imágenes satelitales.
- Reducción de las medidas de gravedad, también denominada corrección de superficie o topográfica.
- Proyectos de inmensas obras de ingeniería.
- Trazados de perfiles topográficos.
- Cálculos de volúmenes.
- Análisis de riesgos ambientales.
- Etc.

2.2.8.19. Otros usos:

Los Modelos de Elevación Digital (MDE) son frecuentemente empleados en sistemas de información geográfica y constituyen la base más habitual para la creación de mapas digitales de relieve.

Figura 25

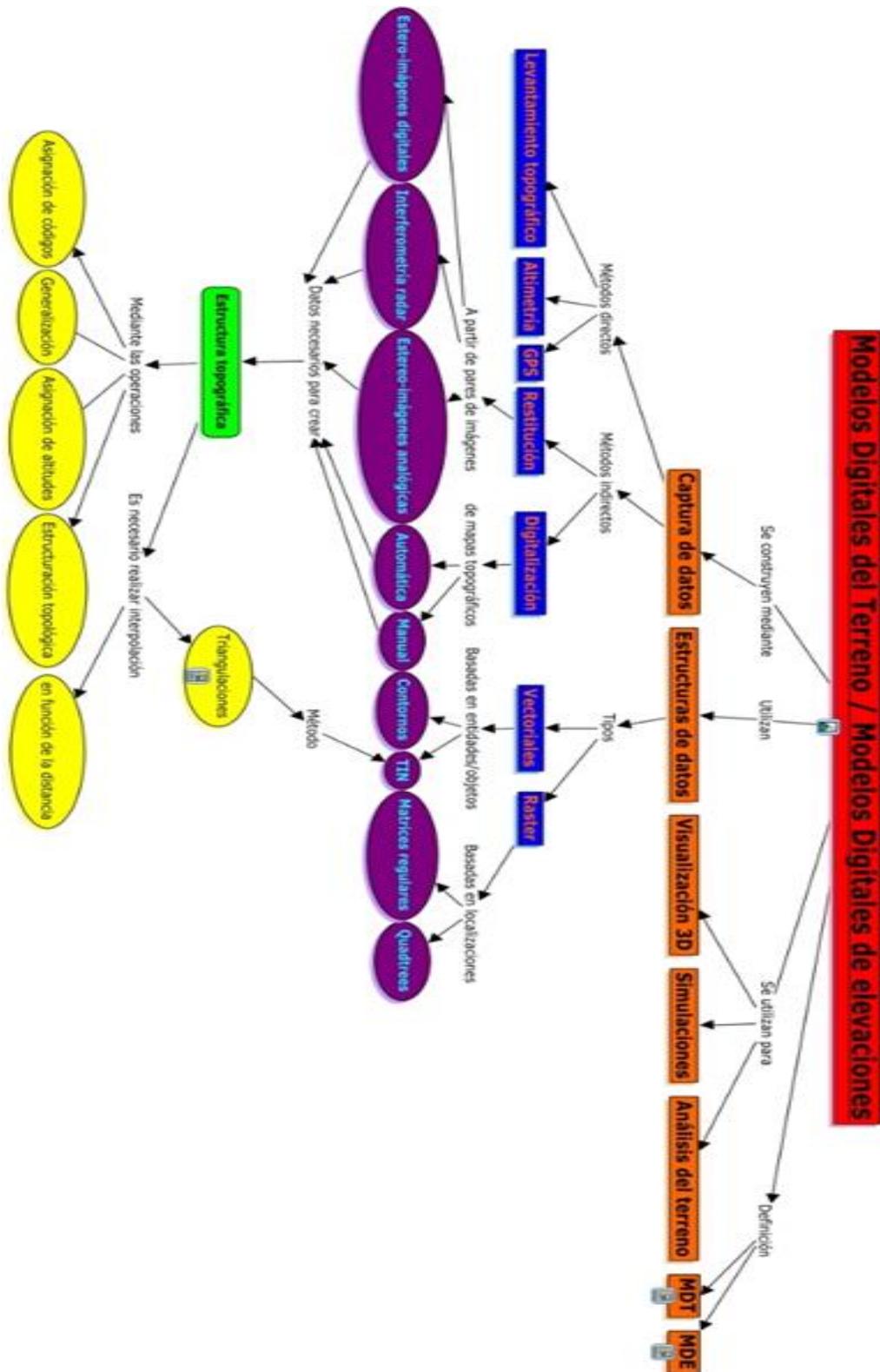
Modelo digital de elevación de los Estados Unidos



Nota: En la figura se representa el modelo digital de elevación de los Estados Unidos (Wiki, 2018).

Figura 26

Conceptualización de MDT y MDE



Nota: En la figura se representa el mapa conceptual del MDT y MDE (Instituto de Florida para la Cognición Humana y Mecánica (IHMC), 2024)



2.2.9. Otros términos y definiciones:

2.2.9.1. Error de medida:

Disparidad entre el valor medido de una magnitud y el de referencia (Ariza López, 2002).

2.2.9.2. Exactitud:

Proximidad entre un valor medido y el valor verdadero (Ariza López, 2002).

2.2.9.3. Exactitud posicional:

La exactitud de la posición de objetos geográficos para una determinada red de referencia espacial (Ariza López, 2002).

Exactitud posicional. Se trata de la precisión de la posición de los datos espaciales en un sistema de referencia, donde se tienen en cuenta varios componentes de calidad:

- Exactitud posicional absoluta o externa. Proximidad de las coordenadas o valores registrados a los datos verdaderos o aceptados como tales.
- Exactitud posicional relativa o interna. Proximidad de las ubicaciones relativas de los objetos geográficos de un grupo de datos a sus respectivas ubicaciones relativas verdaderas o aceptadas como tales.
- Exactitud posicional de datos en malla. Proximidad de los datos de posición en estructura de malla regular a los datos verdaderos o aceptados como tales.



Como mencionado previamente, La exactitud posicional se refiere a la precisión en la ubicación de datos espaciales en un sistema de referencia, lo que implica la cercanía entre los valores registrados de las coordenadas de características específicas de objetos geográficos en el conjunto de datos (por ejemplo, la ubicación de una esquina de una casa en el conjunto de datos) y los valores verdaderos o aceptados como tales (por ejemplo, las coordenadas de la esquina de esa casa en el mundo real, obtenidas mediante datos GNSS). Esta "cercanía entre valores" tradicionalmente se ha denominado error, aunque es más apropiado llamarla discrepancia.

El error posicional se define generalmente como la discrepancia con respecto a un punto específico con coordenadas dadas, pudiendo tener valores diferentes para cada una de las componentes X , Y , Z individualmente (ex , ey , ez) en un caso 1D. También puede ser medido y expresado conjuntamente en términos planimétricos o radiales (ex , ey) en un caso 2D, siendo poco común una evaluación conjunta (ex , ey , ez) en un caso 3D. Para nuestra variable de interés, la posición, el error representa la diferencia entre un valor estimado (por ejemplo, observado) presente en el conjunto de datos a evaluar (CDE) y el valor verdadero o de referencia considerado como tal (conjunto de datos de referencia, CDR). La ecuación 1 presenta la definición matemática del error posicional en cada una de las componentes (X , Y , Z).

Figura 27

Cálculo de errores o discrepancias

$$e_x = X_{CDE} - X_{CDR} \quad e_y = Y_{CDE} - Y_{CDR} \quad e_z = Z_{CDE} - Z_{CDR} \quad \text{Ec.1}$$

donde:

e	error
X	coordenada X
Y	coordenada Y
Z	coordenada Z

Nota: En el esquema se muestra la estimación de errores para los componentes posicionales X, Y, Z.

En las evaluaciones de la exactitud posicional, la topología de objetos utilizada típicamente para obtener valores de error o discrepancias son vértices o puntos bien definidos. Estos puntos están claramente definidos geométricamente, lo que facilita la identificación inequívoca del punto y son puntos aislados, como esquinas o intersecciones, generalmente de elementos creados por el ser humano. Estos puntos son fácilmente identificables en su entorno tanto en el conjunto de datos a evaluar (CDE) como en el conjunto de datos de referencia (CDR). Es fundamental que ambas coordenadas, las del CDE y del CDR, estén expresadas en el mismo sistema de referencia de coordenadas. Además, para detectar posibles sesgos y garantizar que la precisión de las coordenadas de la referencia no afecte significativamente la evaluación, se requiere que la fuente de referencia sea independiente y tenga una mayor exactitud.

Para una comprensión más precisa del término "exactitud", es importante aclararlo adecuadamente. La exactitud se evalúa a nivel de conjunto de datos. La Norma Internacional ISO 5725-1 (Ariza-López, 2002) utiliza dos conceptos, "veracidad" y "precisión", para describir la exactitud de un método de medición. "Veracidad" (trueness) se refiere a



qué tan cercana es la media aritmética de un gran número de resultados de ensayos al valor verdadero o al valor de referencia aceptado. "Precisión" (precisión) se refiere a la cercanía de la concordancia entre los diferentes resultados, y por lo tanto no está relacionada con el valor verdadero o el valor de referencia aceptado.

2.2.9.4. Sesgo:

Valor estimado de un error sistemático (Ariza López, 2002).

2.2.9.5. Veracidad:

Cercanía entre la media de un conjunto infinito de mediciones repetidas y un valor de referencia (Ariza López, 2002).

2.2.9.6. Precisión:

Cercanía entre las mediciones repetidas o valores obtenidas de un mismo objeto, o de objetos similares, bajo condiciones especificadas (Ariza López, 2002).

NOTA 1 Es común que la precisión de una medida se describa numéricamente utilizando medidas de dispersión como la desviación estándar, la varianza o el coeficiente de variación, en las condiciones dadas.

NOTA 2 Las "condiciones especificadas" pueden referirse a condiciones de repetibilidad, precisión intermedia o reproducibilidad (Ariza López, 2002).

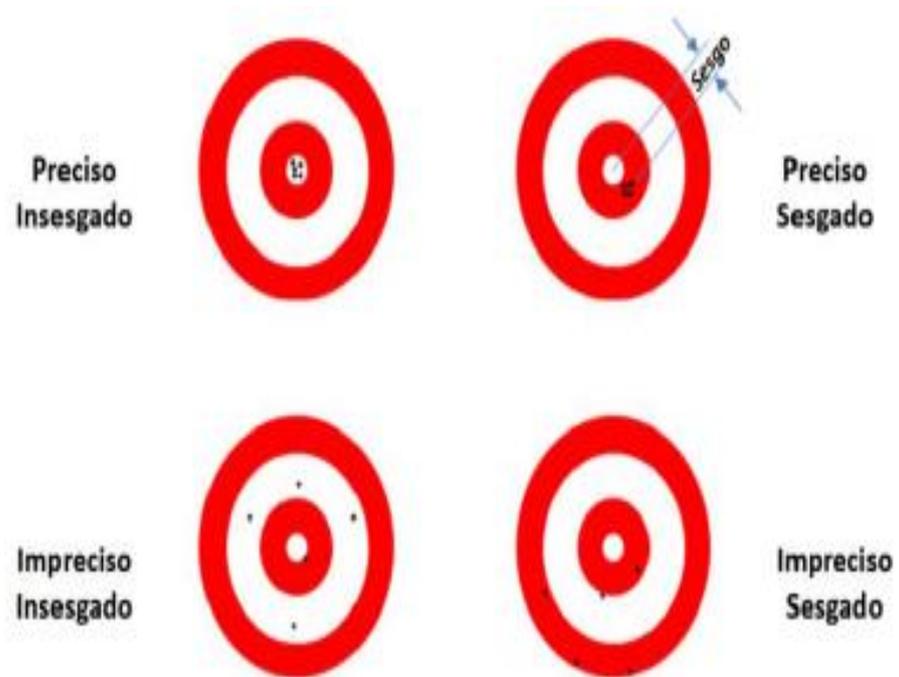
NOTA 3 La precisión se emplea para describir la repetibilidad de la medida, la precisión intermedia y la reproducibilidad.

NOTA 4 A menudo, se emplea incorrectamente el término "precisión de medida" en lugar de "exactitud de medida".

La precisión se evalúa a nivel de conjunto de datos, donde se refiere a la proximidad entre las múltiples mediciones independientes de una característica cuantitativa de interés. Esta cercanía se mide típicamente mediante la variabilidad o dispersión en el conjunto de mediciones, siendo comúnmente cuantificada por la desviación estándar (σ).

Figura 28

Relación entre veracidad y precisión



Nota: En el esquema se visualiza 4 muestra ejemplos de casos generales que pueden suscitar en cuanto a la relación entre la veracidad (presencia o ausencia de sesgos) y la precisión (datos más precisos o menos precisos).



2.2.9.7. Muestra:

Grupo más pequeño de una población, compuesto por una o más unidades de muestra. (Ariza-López, 2002).

2.2.9.8. Estimación:

Método que proporciona una estimación estadística de una población mediante la selección aleatoria de una muestra de esa población (Ariza López, 2002).



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. ZONA DE ESTUDIO

3.1.1. Ubicación Política

Ubicado en el Departamento de Moquegua, Provincia de Mariscal Nieto, Distrito de Moquegua, Sector Quebrada Camposanto.

3.1.2. Ubicación de Coordenadas UTM

SISTEMA: UTM WGS 84 ZONA 19L SUR

Este: 297,820.00 m

Norte: 8'097,521.00 m

Altitud: 1661.00 m.s.n.m.m.

3.1.3. Ubicación de Coordenadas Geográficas

SISTEMA: GEOGRÁFICO WGS 84

Latitud: S-17°11'53"

Longitud: W-70°54'4"

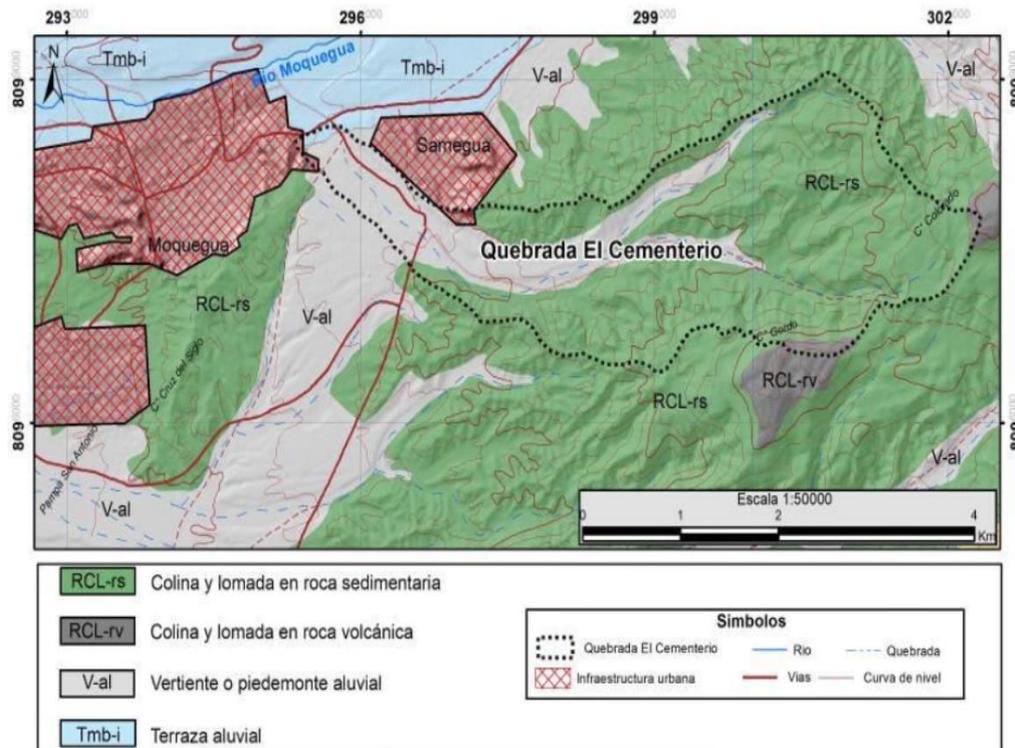
3.1.4. Geomorfología de la zona

La Microcuenca quebrada campo santos – Moquegua y sus alrededores se ha diferenciado las siguientes unidades geomorfológicas (figura 29). Esta unidad geomorfológica posee un relieve de colinas y lomadas con **superficies onduladas** y disectadas por quebradas ligeramente profundas. Las laderas presentan

pendiente de 30 a 40 %, litológicamente estas colinas y lomas están compuestos por rocas de la Formación Moquegua, que consisten de depósitos arenoconglomerádicos.

Figura 29

unidades geomorfológicas.



Nota: en la figura se muestra las unidades geomorfológicas en el sector de la quebrada el cementerio, fuente (Geocatmin - <http://geocatmin.in.ingemmet.gob.pe/geocatmin/>).

3.1.5. Clima

La máxima velocidad del viento registrada es de nudos en los meses de agosto y la menor velocidad durante los meses de febrero y marzo. La dirección predominante es de sur a sureste. En el sector de estudio el promedio de precipitación es de 15 mm/años registrados en la estación meteorológica de Moquegua con isoyetas del sur del Perú.

3.1.6. Vías de Acceso

El acceso al área de estudio es:

Tabla 2

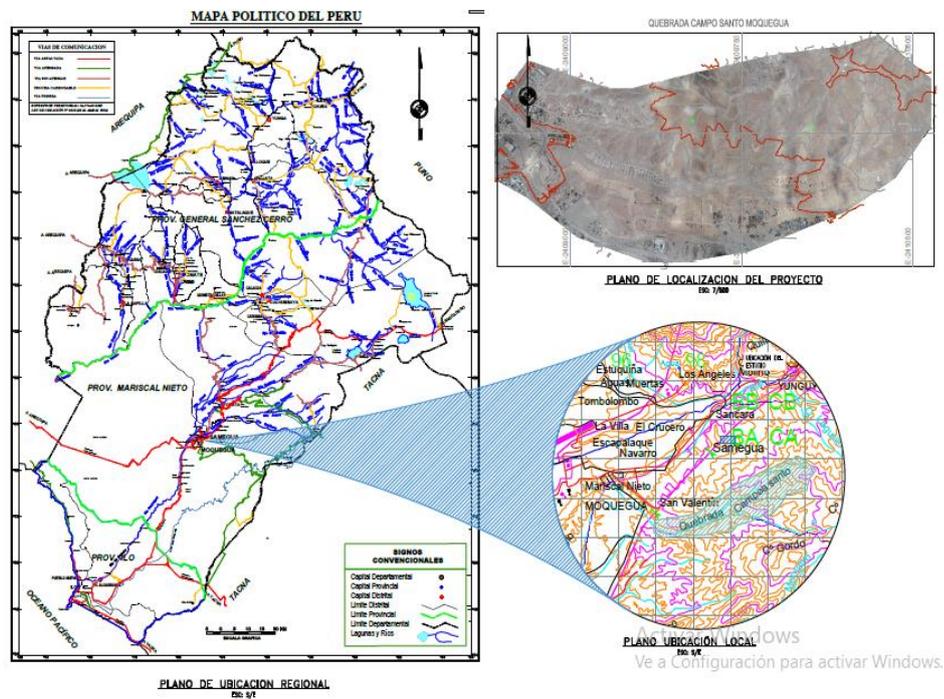
Vías de Acceso al área de estudio Del Departamento de Moquegua.

VIA DE ACCESO AL ÁREA DE ESTUDIO "MICROCUCENA QUEBRADA CAMPOSANTO - MOQUEGUA"				
De	A	Tipo de Vía	Tiempo	Estado
Moquegua	La Panamericana Sur (Moquegua - Puno) Desv. Al Dto. Samegua	Asfaltado y Trocha	25 minutos	Regular

Nota: Elaborado con datos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

Figura 30

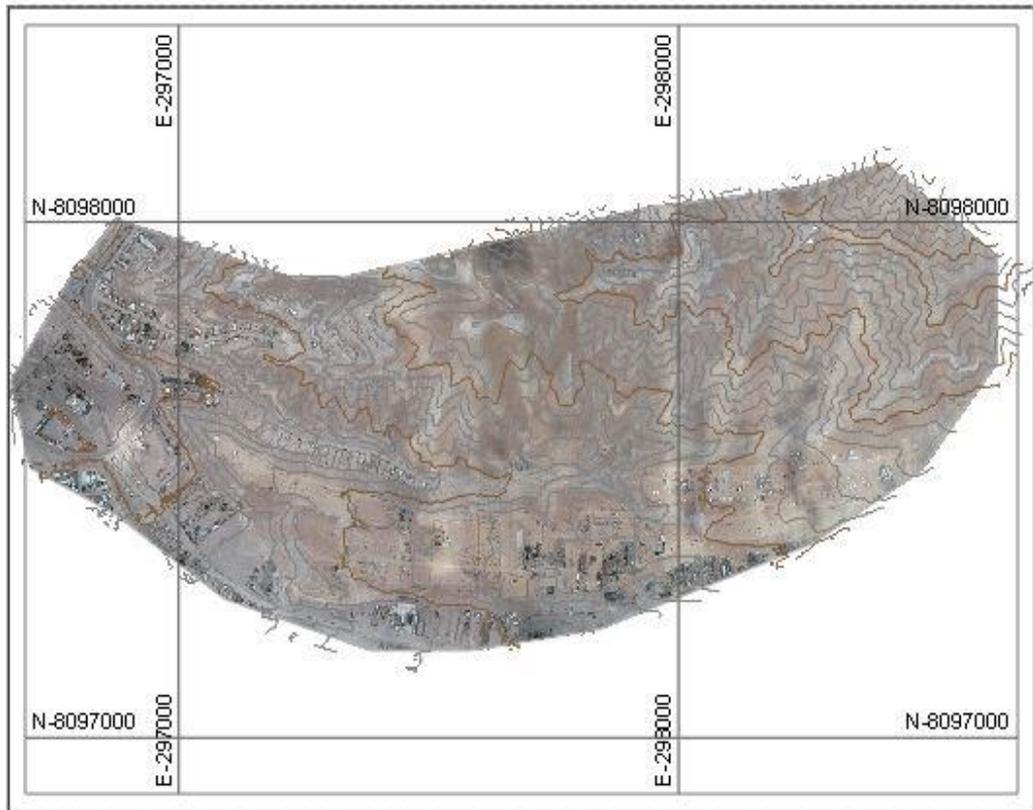
Ubicación del área de estudio de investigación.



Nota: Mapa de Ubicación del de la Quebrada Camposantos, Región Moquegua (anexo 11).

Figura 31

Localización del área de estudio.



Nota: en la imagen muestra la ubicación y localización del proyecto en estudio.

3.2. MATERIALES Y EQUIPOS

3.2.1. Materiales

Los siguientes materiales listados fueron utilizados para el proceso de monumentación PCG y demarcación de PCT.

- Pinturas en spray
- Agenda y/o libreta topográfica
- Cemento
- Arena



- Agua
- Yeso

3.2.2. Herramientas

Las siguientes herramientas listadas fueron utilizadas para el proceso de monumentación PCG y demarcación de PCT.

- Molde para monumentación
- Pala
- Barreta
- Badilejo
- Flexómetro y/o Cinta métrica

3.2.3. Equipos

Los siguientes equipos listados fueron utilizados para el procesamiento de datos GNSS-RTK, RPAS, SRTM. y la generación de sus respectivos MDT.

- Computadora
- Laptop Core I7
- Tablet
- Disco duro 1TB portatil.
- Impresora



- Cámara fotografías

Equipos Móvil para transporte utilizado en el desarrollo de la presente investigación.

- Movilidad Camioneta 4x4.

3.2.4. Instrumentos

Los siguientes Instrumentos listados fueron utilizados para la recolección de datos topográficos aplicando los métodos de medición directa (GNSS-RTK), e indirecta (RPAS, SRTM).

- Receptores GNSS Trimble Modelo R6
- Radios comunicadores motorola Alcance de máx 2km.
- Drone DJI Phantom 4 Pro
- Bastones porta Receptores GNSS
- Bi-pies
- Nivel Esférico

3.2.5. Software Utilizados

Los siguientes Software listados fueron utilizados para el post proceso de posicionamiento y obtención de los puntos de control geodésico (PCG) de orden “C” del proyecto, generación de los MDTs y la descripción de cada uno de los procedimientos; los softwares utilizados son de propietario, con licencia estudiantil.



- Software Trimble Business Center V.5.40. (PCG orden “C”)
- AutoCAD Civil 3D 2021. (MDT-GNSS-RTK)
- Agisoft Metashape 2.0.0(MDT-RPAS)
- Qgis 3.34 (MDT-SRTM)
- Microsoft Office 2021

3.3. PERIODO DE DURACIÓN DEL ESTUDIO

El proyecto de investigación se realizó en 3 etapas.

En la primera etapa de ejecución de la investigación de llevo a cabo la obtención de materiales, software necesarios y equipos y para ejecutar los trabajos de campo y gabinete sin imprevistos. Durante este periodo que comprende los meses de febrero a abril del 2022, se realizó el reconocimiento de terreno y la determinación del área de estudio así mismo se estableció 2 puntos de control geodésico de orden “C”, siendo monumentados en puntos estratégicos.

En la segunda etapa que comprende los meses de abril a agosto 2022, se ejecutó progresivamente la recolección de los datos de campo a través del método directo GNSS-RTK y los métodos indirectos RPAS y SRTM.

En la tercera etapa se ejecutó los trabajos de gabinete para la obtención de los Modelos Digitales de Terreno provenientes de los datos GNSS-RTK, RPAS, Y SRTM determinando su respectivo grado de precisión horizontal (X, Y) y vertical (Z).



3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA DE ESTUDIO

3.4.1. POBLACIÓN

Son los Modelos Digitales de Terreno obtenido con los datos GNSS-RTK, RPAS y SRTM de la microcuenca Quebrada Camposanto - Moquegua.

3.4.2. MUESTRAS

Son las coordenadas de los 47 puntos (componentes posicionales), extraídos de los MDTs obtenidos con los datos GNSS-RTK, RPAS y SRTM, a ser contractados con PCT para determinar el grado precisión horizontal (X, Y) y vertical (Z) de la Microcuenca Quebrada Camposanto – Moquegua.

3.5. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

3.5.1. Diseño De La Investigación

El enfoque es *cuantitativo* dado que permite la evaluación de datos de forma numérica. En lo que respecta al lapso de tiempo durante el cual se registrarán las mediciones de las variables en estudio, se clasifica como transversal, dado que se llevará a cabo en un momento específico, con todos los datos recopilados simultáneamente. En cuanto al número de variables, se caracteriza como analítica, pues se realizará un análisis de los datos para verificar la hipótesis planteada.

3.5.2. Tipo De Investigación

El análisis de datos adopta un nivel descriptivo, ya que implica la comparación de las variaciones entre las muestras utilizando el método estadístico ANOVA como prueba de referencia.

3.5.3. Significancia Estadística

Nivel de significancia a 0.05 ó 5% con un nivel de confianza del 0.095 ó 95%.

3.6. VARIABLE DE LA INVESTIGACION

3.6.1. Variable Dependientes

El grado de precisión horizontal (X, Y) y vertical (Z) de los modelos digitales de terreno, metros.

3.6.2. Variable Independientes

Los modelos digitales del terreno obtenidos de los datos GNSS-RTK, RPAS Y SRTM.

Tabla 3

Cuadro de Operacionalización de Variables

	Variable	Dimensión	Indicador	Intrumentos
V.D	Coordenadas GNSS (Puntod de Control Terrestre)	FastStatic (estáticos rápidos)	metros	Receptores GNSS
	Coordenadas de Control (Compomente Posicional)	MDT SRTM, MDT RPAS MDT GNSS (RTK)	metros metros metros	QGIS Agisoft Metashape CIVIL 3D

Nota: tabla de operacionalización de variables independientes y dependientes.

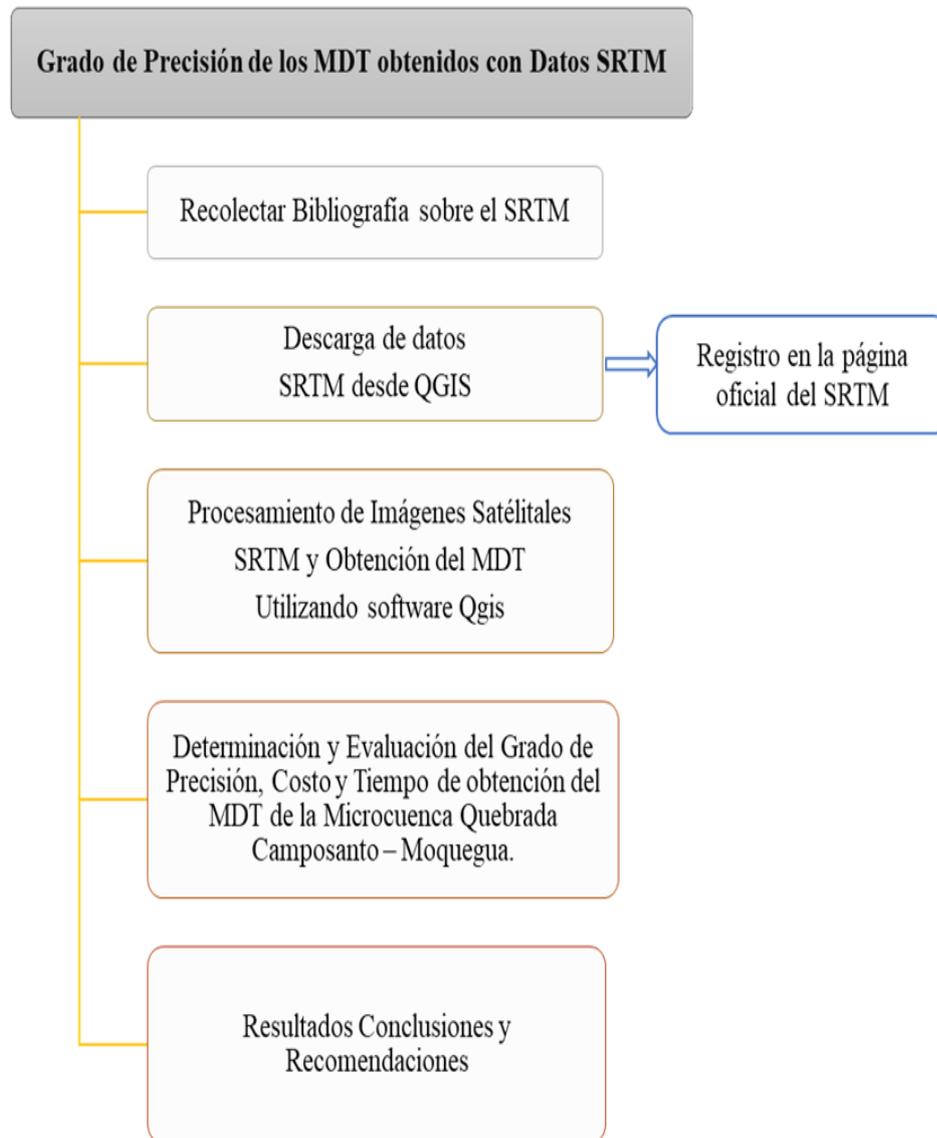
3.7. PROCEDIMIENTO

A continuación, se expone el procedimiento para Determinar en el grado de precisión de los modelos digitales del terreno resultantes de datos SRTM, RPAS Y GNSS de la Microcuenca Quebrada Camposanto – Moquegua.

3.7.1. Grado de Precisión de los MDT obtenidos con datos del SRTM

Figura 32

Flujograma de los MDT obtenidos con datos SRTM



Nota: en la figura se muestra el desarrollo para la obtención del MDT con datos SRTM.

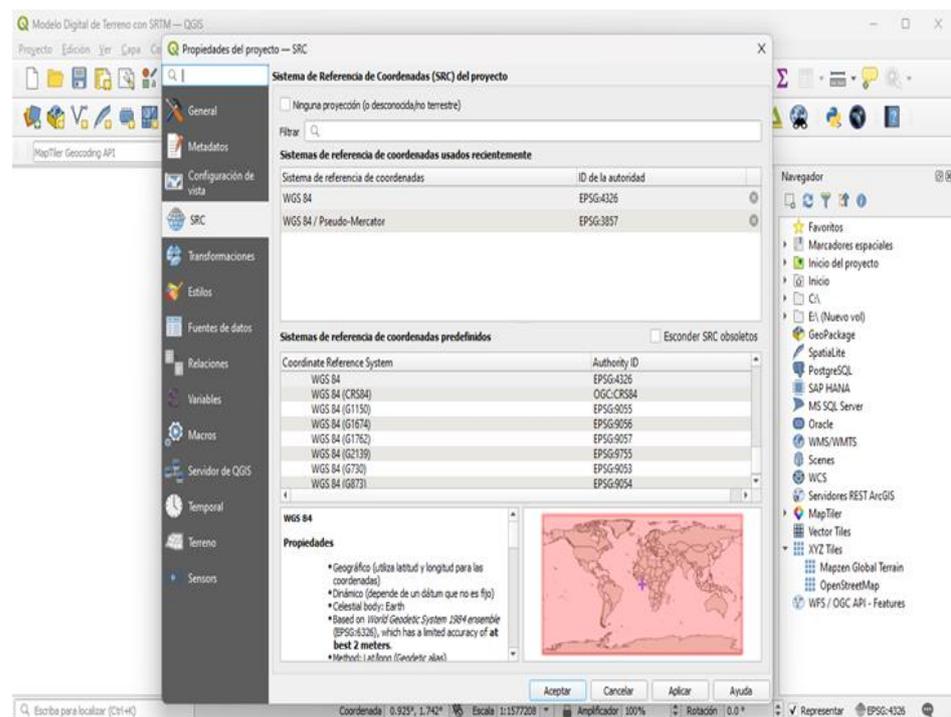
Se empleará información recolectada de datos descargados del SRTM desde Qgis para llevar a cabo los siguientes procedimientos y configuraciones del proyecto de investigación. El procesamiento de los Modelos Digitales de Elevaciones es en alta resolución conocidos bajo el nombre de los acrónimos SRTM de la NASA.

3.7.1.1. Procesamiento de datos SRTM para la obtención de los MDT

Primero: En el software Qgis, se hizo la configuración del proyecto a su respectivo sistema de coordenadas de referencia (UTM WGS-84 ZONA 19S). Ver la configuración realizada para la ubicación del área de estudio “Microcuenca Quebrada Camposanto – Moquegua”, en la figura 33.

Figura 33

Configuración del proyecto de estudio en Qgis



Nota: en la imagen se muestra la configuración del sistema de coordenadas utilizado UTM WGS-84 zona 19S para el área de estudio denominado “Microcuenca Quebrada Camposanto – Moquegua”.

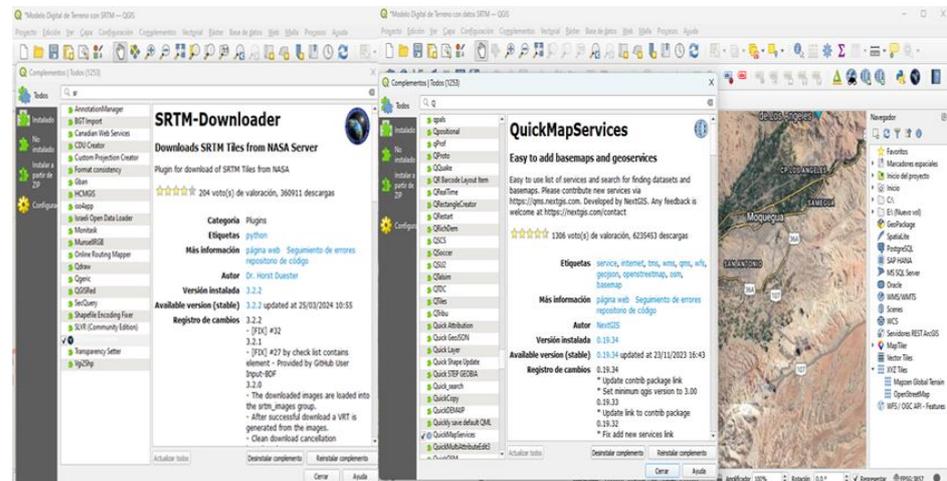
Segundo: Se hizo las siguientes configuraciones y activación de los siguientes complementos requeridos para la descarga y procesamiento de los datos SRTM; ver figura 34.



- ClusterPoint
- Coord List
- Coordinate Capture
- Coorddinates Converter
- Coordinate
- Copy_Coords
- DB Manager
- Elevation Tile4JP
- HTP Geoprocessor
- Map Tiler
- MetaSearch Catalog Client
- Oracle Georaster Plugin
- Processing
- Profile Export
- Profile Tool
- Qgis2threejs
- QuickMapServices
- SRTM-Dwnloader

Figura 34

Ejemplo de configuración y activación de los principales complementos

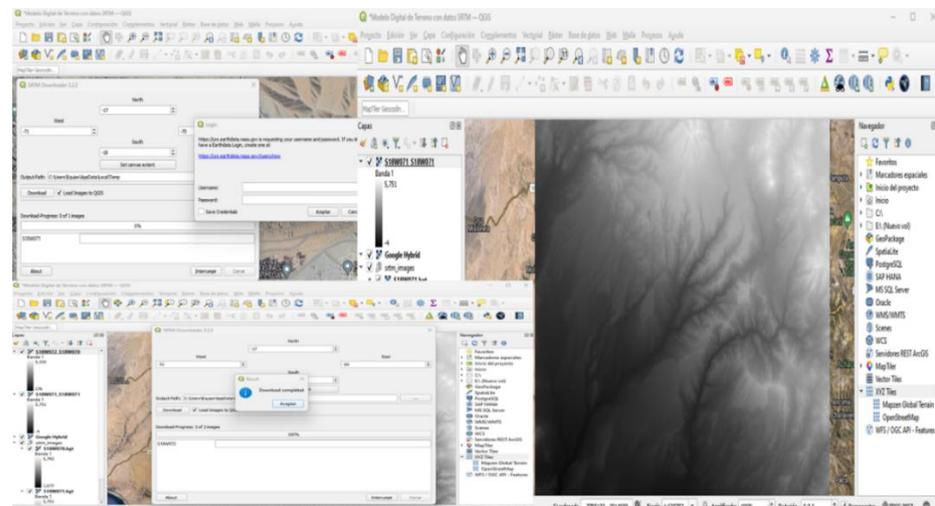


Nota: en la imagen se muestra la configuración y proceso de activación de los principales complementos requeridos para la descarga de datos SRTM.

Tercero: Para la descarga de datos del SRTM – NASA, se procedió a registrarse en la página oficial (<https://urs.earthdata.nasa.gov/>), de esta manera se inició la obtención y descarga de los modelos digitales de elevación (MDE) del área de estudio, ver (Figura 35).

Figura 35

Descarga de datos SRTM de la página NASA EARTH DATA.



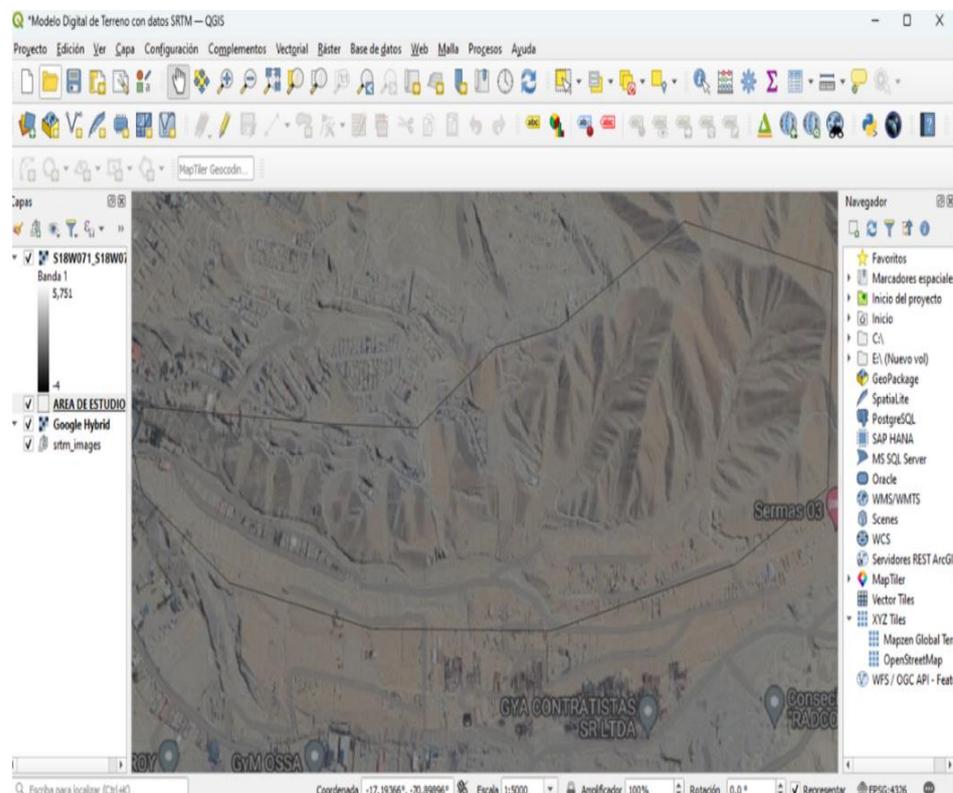
Nota: en la figura se muestra la forma de descargar datos raster y MDE requeridos del SRTM.

3.7.1.2. Procedimiento de imagen raster SRTM

Primero: el relieve o MDT obtenido de los datos SRTM, es representado en curvas de nivel, por tanto, como primer paso se determinó y delimito el área de estudio de la presente tesis “MDT de la Microcuenca Quebrada Camposanto – Moquegua”, ver (Figura 36).

Figura 36

Determinación y delimitación del área de estudio.

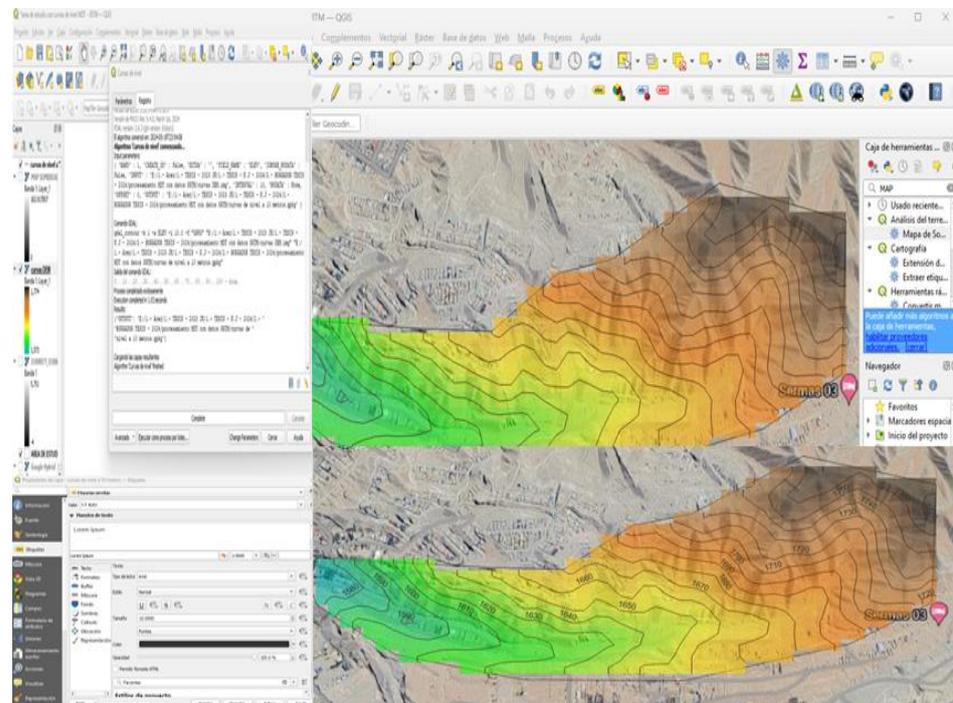


Nota: en la imagen se muestra la determinación del área de estudio “Microcuenca Quebrada Camposanto – Moquegua”.

Segundo: paso seguido se procedió a ejecutar la configuración correspondiente para la generación de las respectivas curvas de nivel del área de estudio denominado “Microcuenca Quebrada Camposanto – Moquegua” ver (Figura 37).

Figura 37

Configuración y generación de las curvas de nivel.



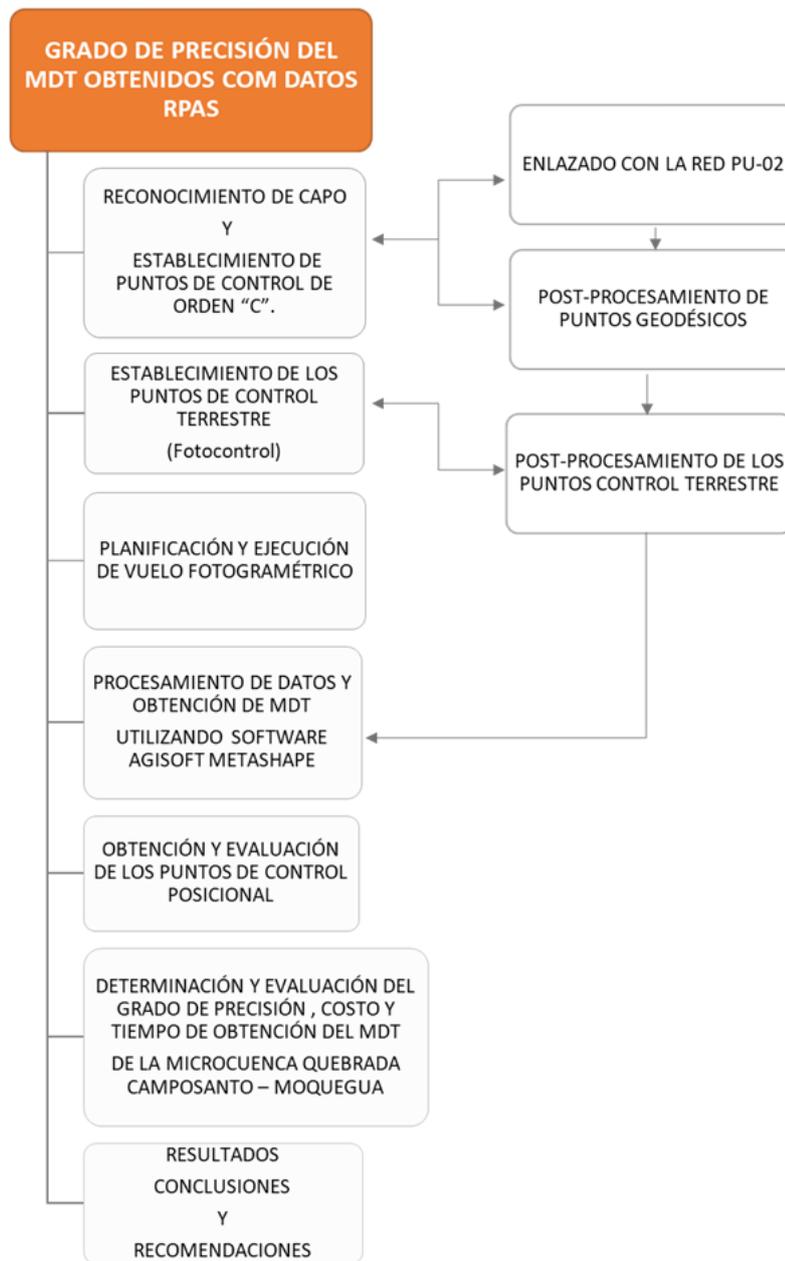
Nota: en la imagen se muestra procesado de configuración y las curvas de nivel obtenidas para el área de estudio.

Tercero: como último paso de esta etapa, se procedió con la importación en formato Tif y georreferenciación del modelo de referencia, en base a la cual se determinó los 47 puntos de control terrestre (muestra utilizada), para la respectiva evaluación del grado de precisión horizontal (x, y) y vertical (z) del modelo digital de terreno (MDT) del área de estudio denominado “Microcuenca Quebrada Camposanto – Moquegua”; para mayor detalle del proceso ver (anexo 9) y el plano del MDT resultante, representado a través de la estructura de datos denominada curvas de nivel (Isohipsas) en (Anexo 12).

3.7.2. Grado de Precisión de los Modelos Digitales de Terreno MDT resultante de los datos RPAS.

Figura 38

Flujograma de los MDT obtenidos con datos RPAS.



Nota: En la figura se muestra el flujograma del proyecto

3.7.2.1. Reconocimiento De Capo Y Ubicación De Puntos

Estratégicos

En etapa del proyecto se realizó el reconocimiento del área de estudio, para determinar el alcance e identificación de la situación actual y las rutas de acceso existentes; en este proceso se evidencio la expansión urbana no planificada impulsada por el crecimiento poblacional desmedido que se viene dando en este sector. Por cuanto se hizo evidente la necesidad de contar con un Modelo Digital De Terreno (MDT), de precisión que servirá como base del estudio hidrológico y la planificación territorial requerida.

Figura 39

Medición y posicionamiento del punto PCG-01 Método Estático



Nota: En la figura se muestra la Medición y posicionamiento del Punto PCG-01 Método Estático.

3.7.2.2. Establecimiento De Puntos De Control De Orden “C”.

Para este proceso se requirió del uso de un Receptor Geodésico de doble frecuencia, equipo GNSS TRIMBLE R6 (base) (ANEXO 3). Estableciéndose los puntos de control geodésicos (PCG) bases

denominados MOQ 1046 y MOQ 1047 de orden "C". Los cuales fueron ajustados con el punto geodésico de orden "0" de la Estación de Rastreo Permanente (ERP) (ver imagen 40 y 41), identificado como MQ02 y administrado por el Instituto Geográfico Nacional (IGN).

Figura 40

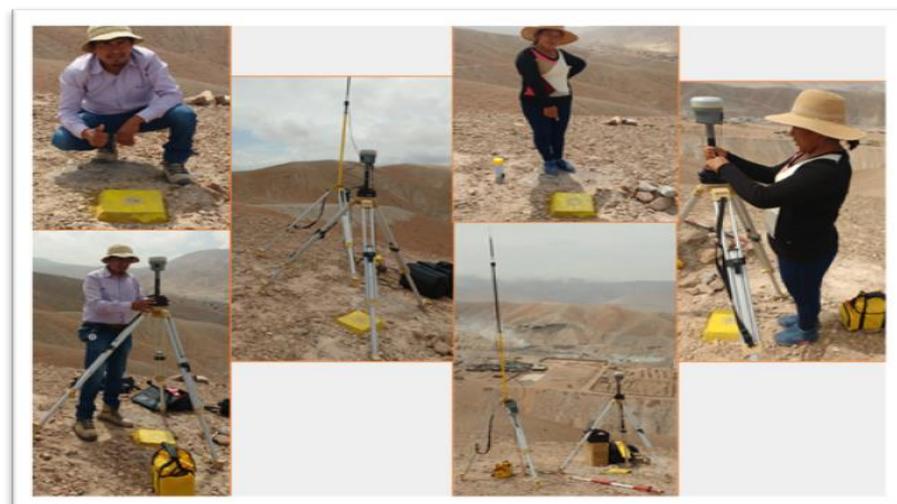
Punto geodésico de orden "0" ERP –MQ02



Nota: En la figura se muestra el registro de obtención de los datos del Punto MQ02.

Figura 41

Posicionamiento de los puntos PCG- MOQ 1046 y MOQ 1047



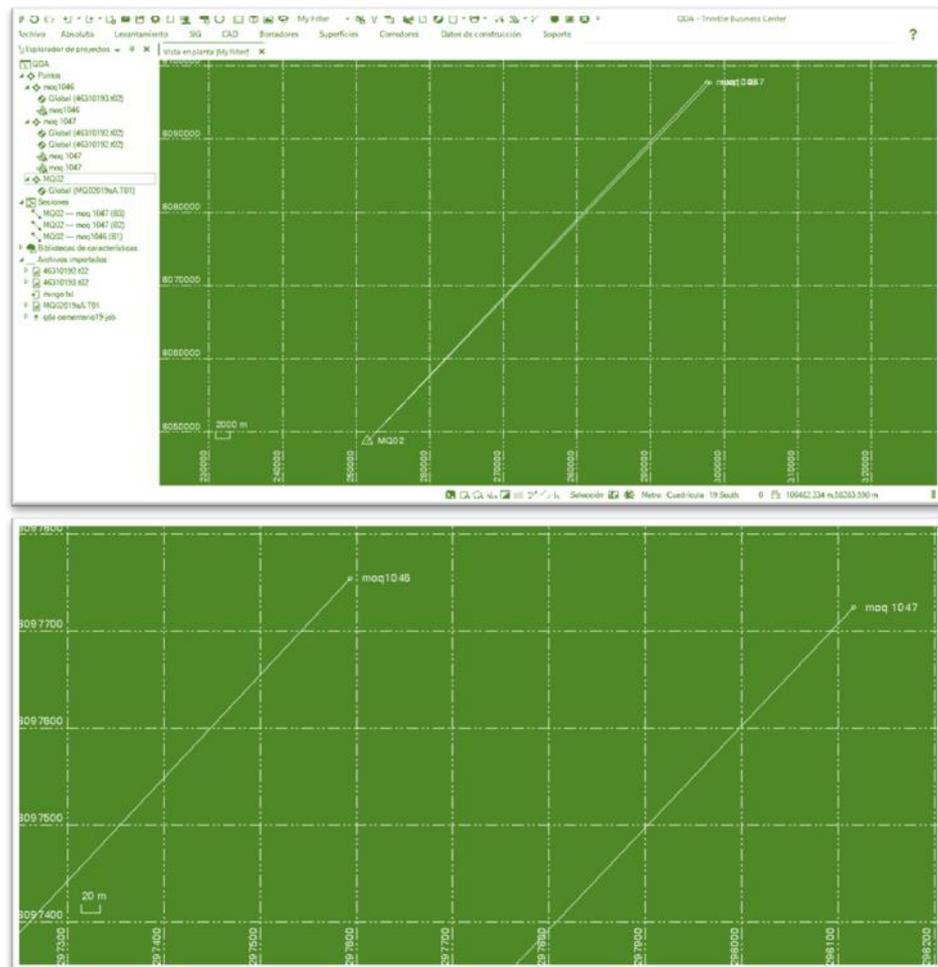
Nota: En la figura se muestra la Medición y posicionamiento Método Estático, de los Puntos MOQ 1046 y MOQ 1047.

3.7.2.3. Post Proceso Estático

Se utilizó la información recopilada en el terreno mediante los Receptores GNSS TRIMBLE R6 para realizar el post proceso de ajuste de coordenadas, enlazando y trasladando los datos desde el punto base (ERP) MQ02 a los puntos (PCG) MOQ 1046 y MOQ 1047, como se muestra en la Figura 42.

Figura 42

Posicionamiento del punto PCG- MOQ 1046 y MOQ 1047



Nota: En la figura se muestra las líneas base de enlace del (ERP) MQ02 hacia los puntos (PCG) MOQ 1046 y MOQ 1047 con el Software Tremble Business Center.

Tabla 4

Resumen de aceptación de enlace y generación de líneas base

Procesado	Pasado	Indicador		Fallida	
2	1	0		0	

Nota. Se la aceptación de enlaces realizado desde punto de control geodésico de Orden “0” (ERP) MQ02 a los 2 puntos (PCG) de orden “C” MOQ 1046 y MOQ 1047 y sus respectivas líneas base, donde no se indica o registra en laces o líneas base fallidas dándose por aceptado los procesos

Tabla 5

Lista de punto UTM de (ERP) MQ02 y los puntos (PCG) MOQ 1046 y MOQ 1047

ID	Este (Metro)	Norte (Metro)	Elevación (Metro)
MQ02	251499.465	8048712.991	44.321
MOQ 1046	297594.220	8097753.253	1724.737
MOQ 1047	298116.421	8097724.889	1757.087

3.7.2.4. Establecimiento De Los Puntos De Control Terrestre denominados Fotocontrol.

Modo Fast Static (Estático Rápido): Estacionado el equipo GNSS TRIMBLE R6 (Base) en los puntos de orden “C” denominados PCG- MOQ 1046 y MOQ 1047, se procede a establecer los 47 Puntos de Control Terrestre (fotocontrol), ver tabla 6 posicionándose en cada uno de ellos los equipos (Rover) TRIMBLE R6, que para este proceso fueron 4 unidades y se posicionaron durante un periodo de 10 minutos en cada punto.

Figura 43

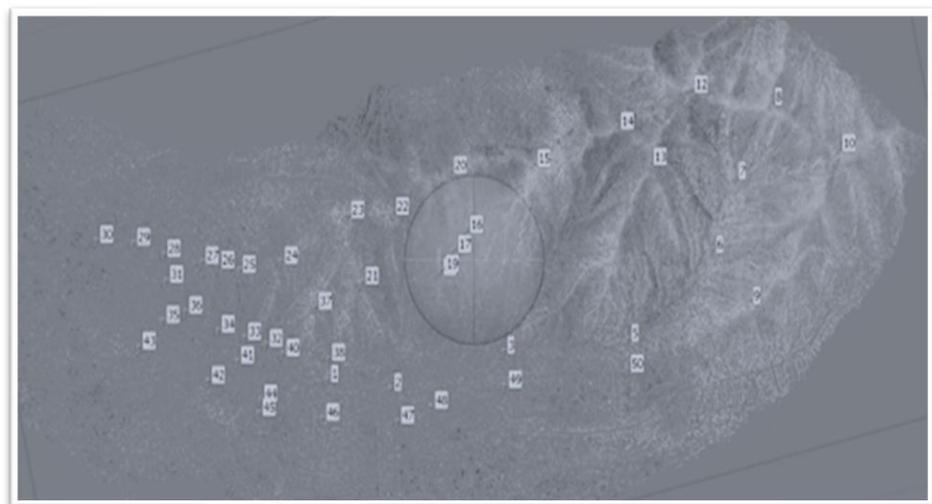
Establecimiento de Puntos de Control en Modo Estático Rápido



Nota. En la figura se muestra el proceso de la toma de datos de los Puntos de Control en Modo Estático Rápido.

Figura 44

Distribución de Puntos de Control terrestre registrados en Modo Estático Rápido



Nota. En la figura se muestra los 47 Puntos de Control terrestre establecidos y registrados con los equipos GNSS en Modo Estático Rápido.

Tabla 6*Lista de puntos de control terrestre UTM de Foto controles*

Item	Este (Metro)	Norte (Metro)	Elevación (Metro)	Descripción del Punto
1	297516.08	8097636.92	1689.346	PCT-01
2	297535.94	8097541.61	1659.455	PCT-02
3	297399.16	8097562.48	1629.515	PCT-03
4	297334.955	8097532.12	1626.718	PCT-04
5	297274.201	8097500.11	1645.324	PCT-05
6	297125.59	8097559.65	1635.449	PCT-06
7	297387.747	8097467.71	1653.692	PCT-07
8	297382.754	8097443.11	1653.403	PCT-08
9	297520.375	8097435.87	1663.088	PCT-09
10	297680.254	8097432.39	1673.673	PCT-10
11	297751.6	8097459.22	1676.345	PCT-11
12	297905.777	8097497.38	1688.177	PCT-12
13	298156.024	8097527.48	1707.836	PCT-13
14	297529.908	8097500.7	1640.552	PCT-14
15	297665.299	8097486.54	1651.281	PCT-15
16	297903.874	8097554.5	1671.381	PCT-16
17	298157.464	8097578.33	1698.332	PCT-17
18	298320.646	8097729.96	1729.543	PCT-18
19	298358.459	8097849.43	1754.417	PCT-19
20	298415.683	8097964.16	1805.712	PCT-20
21	298388.028	8097649.37	1763.454	PCT-21
22	298538.768	8097888.98	1819.562	PCT-22
23	298258.837	8097982.26	1813.714	PCT-23
24	298184.764	8097872	1795.932	PCT-24
25	298121.503	8097929.14	1787.383	PCT-25
26	297962.476	8097872.72	1774.368	PCT-26
27	297829.214	8097764.33	1709.26	PCT-27
28	297804.131	8097731.67	1700.335	PCT-28
29	297779.313	8097700.63	1715.879	PCT-29
30	297774.985	8097695.06	1713.966	PCT-30
31	297799.608	8097863.12	1756.409	PCT-31
32	297616.83	8097681.11	1709.63	PCT-32
33	297681.871	8097796.7	1721.965	PCT-33
34	297593.276	8097793.46	1729.601	PCT-34
35	297451.359	8097716.56	1699.595	PCT-35
36	297360.463	8097700.4	1683.291	PCT-36
37	297315.272	8097707.58	1676.54	PCT-37
38	297280.327	8097714.95	1667.738	PCT-38
39	297196.528	8097725.67	1652.584	PCT-39
40	297130.182	8097745.26	1645.745	PCT-40
41	297042.679	8097748.03	1623.594	PCT-41
42	297189.473	8097676.68	1622.679	PCT-42
43	297434.897	8097545.84	1632.713	PCT-43
44	297352.727	8097575.05	1625.959	PCT-44
45	297296.254	8097587.27	1624.494	PCT-45
46	297173.667	8097603.22	1611.129	PCT-46
47	297227.054	8097621.37	1621.448	PCT-47

Nota. Cuadro de coordenadas Este Norte y Elevación de los 47 PCT establecidos.

3.7.2.5. Planificación Y Ejecución De Vuelo Fotogramétrico

El proceso de vuelo fotogramétrico se ejecutó en tres fases, previstas en la etapa de planificación de vuelo drone PIX4D, tomando en consideración las condiciones climáticas óptimas para la realización del vuelo y la dimensión del área de estudio (ver imagen 45); para lo cual se empleó un vehículo aéreo no tripulado (Drone) de ala rotatoria con cuatro motores, modelo DJI Phantom 4 ver ficha técnica en (ANEXO 4), el cual tiene una cámara de características indicadas (ver Tabla 7), con el cual se registraron y procesaron un total de 1258 imágenes, ver datos del levantamiento fotogramétrico ejecutado con equipo RPAS drone en la Tabla 8.

Figura 45

Planificación de vuelo



Nota. En la figura el proceso de programación de la planificación de vuelo realizado con el programa PIX 4D.

Figura 46

Ejecución de vuelo fotogramétrico



Nota. En la figura el proceso de Ejecución de vuelo drone modelo DJI Phantom 4.

Tabla 7

Lista de características de la cámara del Drone

Modelo de cámara	Resolución	Distancia focal	Tamaño de píxel
FC6310 (8.8 mm)	5472 x 3648	8.8 mm	2.41 x 2.41 micras

Nota. Cuadro de características técnicas de la cámara

Tabla 8

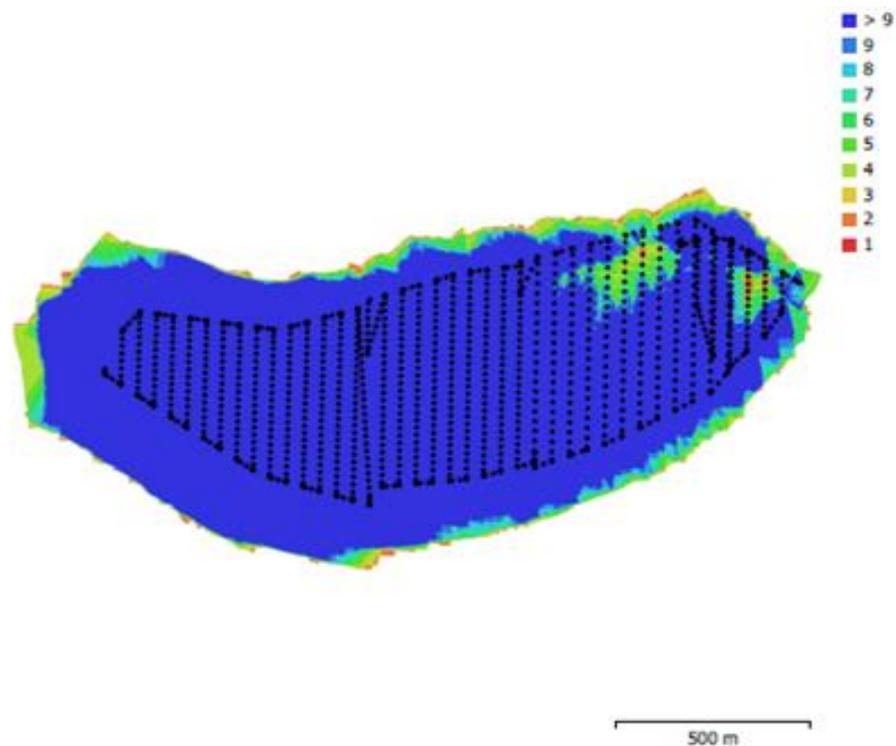
Datos Del Levantamiento Fotogramétrico Realizado

Descripción	Valor	Unidades
Cantidad de imágenes	1,258	Udn.
Altura media de vuelo:	168	m.
Resolución en terreno	4.35	cm/pix
Área abarcada	1.39	km ²
Imágenes alineadas	1,256	Udn.
Puntos de paso	339,089	Udn.
Proyecciones	1,607,928	Udn.
Error de reproyección	3.09	pix

Nota. La altura media de vuelo fue determinada en función al nivel más alto y bajo del área de estudio y la elevación del punto de despegue.

Figura 47

Posiciones de cámaras y solapamiento de imágenes



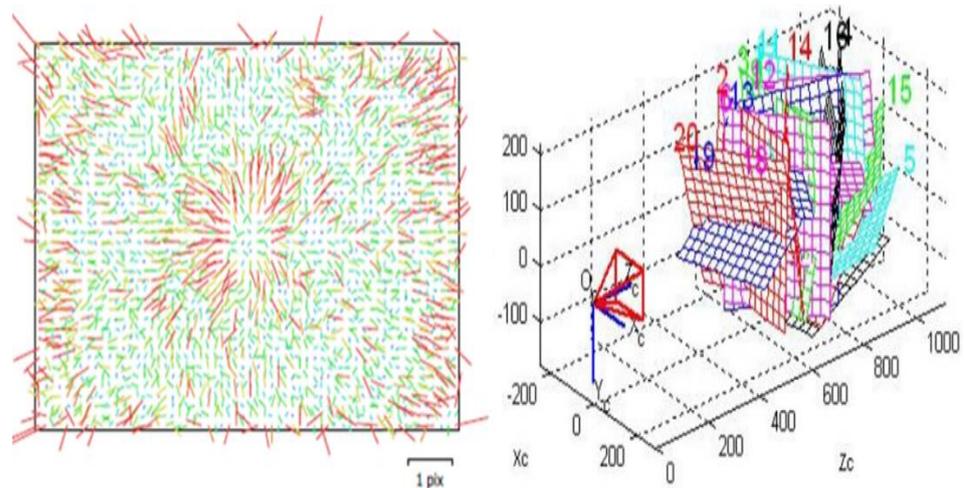
Nota. En la figura se muestra el registro de posiciones de cámaras y solapamiento de imágenes.

- Calibración De Cámara (Ver Imagen 48 y Tabla 9).

Hasta este punto, la herramienta de calibración del Agisoft Metashape, tiene la capacidad de ejecutar el algoritmo de calibración de fotos, ya que cuenta con la información requerida, mínimo 20 fotografías que contengan un mismo elemento en diferentes posiciones denominados patrón de calibración, para calcular tanto los parámetros extrínsecos como los intrínsecos. Una vez que se completa la calibración, se visualiza la información correspondiente a las distintas posiciones del patrón de calibración ver (Ver Imagen 48).

Figura 48

Gráfico de residuales obtenido para la cámara FC6310 (8.8 mm)



Nota. En la figura se muestra gráficamente el resultado del proceso de calibrado de la cámara FC6310 lado izquierdo se tiene vista en planta y lado derecho vista 3D de las posiciones del patrón de calibración en pixeles.

Tabla 9

Coefficientes de calibración y matriz de correlación de las posiciones de las cámaras.

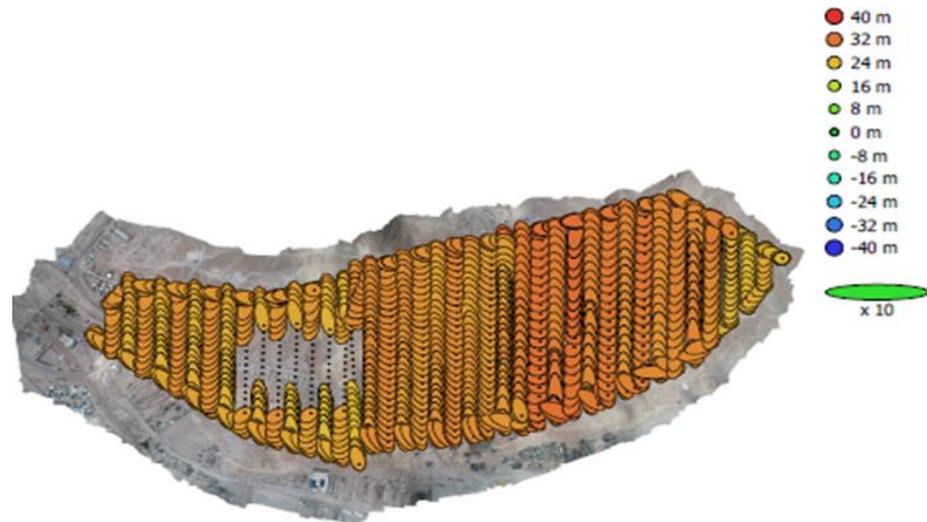
	Valor	Error	F	Cx	Cy	B1	B2	K1	K2	K3	P1	P2
F	3679.66	0.072	1.00	0.01	-0.10	-0.27	-0.28	-0.08	0.10	-0.08	-0.01	-0.02
Cx	3.74349	0.019		1.00	0.15	0.03	-0.02	-0.01	0.02	-0.02	0.81	0.14
Cy	5.27591	0.014			1.00	0.05	-0.00	0.02	-0.03	0.03	0.18	0.61
B1	0.285523	0.0077				1.00	0.08	-0.00	-0.02	0.02	0.05	-0.00
B2	-0.529092	0.0076					1.00	-0.02	0.00	-0.00	0.01	0.00
K1	0.00203964	2.6e-05						1.00	-0.97	0.91	-0.04	0.01
K2	-0.0038497	7.7e-05							1.00	-0.98	0.04	-0.00
K3	0.00460929	6.9e-05								1.00	-0.04	-0.00
P1	0.000471703	1.8e-06									1.00	0.16
P2	-0.000535936	1.1e-06										1.00

Nota. Se muestra la tabla de calibración y matriz de correlación de posiciones de las cámaras.

- Estimación De Error De Posicionamiento De Cámaras.

Figura 49

Posiciones de cámaras



Nota. En la figura se muestra la posición de cámaras y estimadores de error; el color indica el error en Z mientras el tamaño y forma de la elipse representan el error en XY; posiciones estimadas de las cámaras se indican con los puntos negros.

Tabla 10

Errores medios de las posiciones de cámaras

Error en X (m)	Error en Y (m)	Error en Z (m)	Error en XY (m)	Error combinado (m)
1.36689	3.54536	28.7744	3.79973	29.0242

Nota. Se muestra la tabla de errores medios de las posiciones de cámaras donde, X - Este, Y - Norte, Z - Altitud.

3.7.2.6. Procesamiento de Datos y Obtención de MDT Utilizando

Software Agisoft Metashape

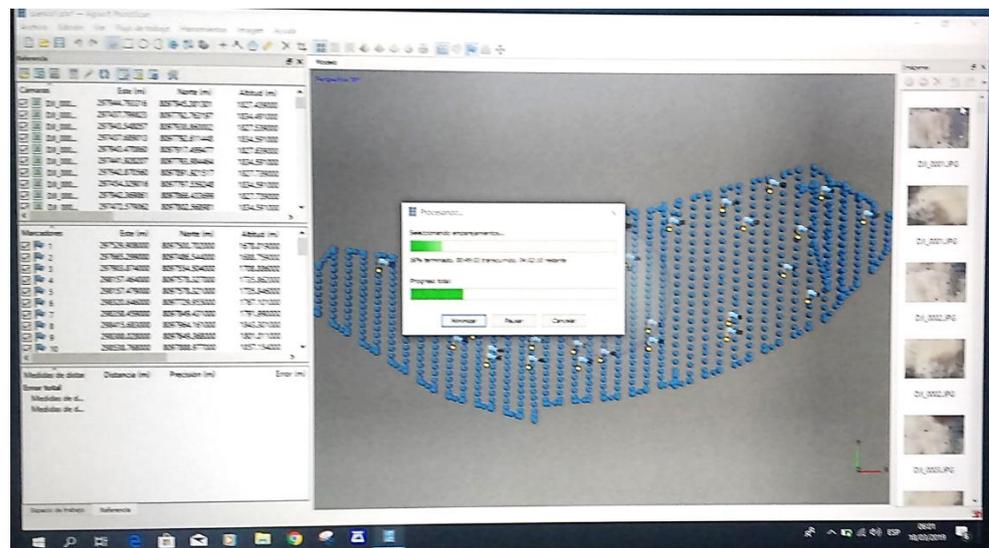
En esta etapa se procesó las 1258 imágenes (fotografías aéreas) registradas, haciendo uso del software especializado Agisoft Metashape Professional, versión 1.8.5 build 14752 y un ordenador de las siguientes

características; CPU Intel(R) Core (TM) i7-4790K CPU @ 4.00GHz;
RAM 31.94 GB; NVIDIA GeForce RTX 2080 Ti.

Con la cual se realizó en primera instancia la georreferenciación del trabajo; el ajuste o calibración de imágenes (posicionamiento de marcadores en imágenes haciendo uso de los puntos de foto control registrados); se prosiguió con la creación la malla, ajuste, y optimización del área de trabajo; paso seguido se realizó la creación de la Nube de puntos densa (MDE); para posteriormente realizar el sombreado(enmascarar) o eliminación de objetos móviles, edificaciones, vegetación densa registrada, con el fin de obtener solo MDT requerido, el cual está representado por curvas de nivel; ver parámetros del procesamiento en (Anexo 5), el proceso está representado en las imágenes.

Figura 50

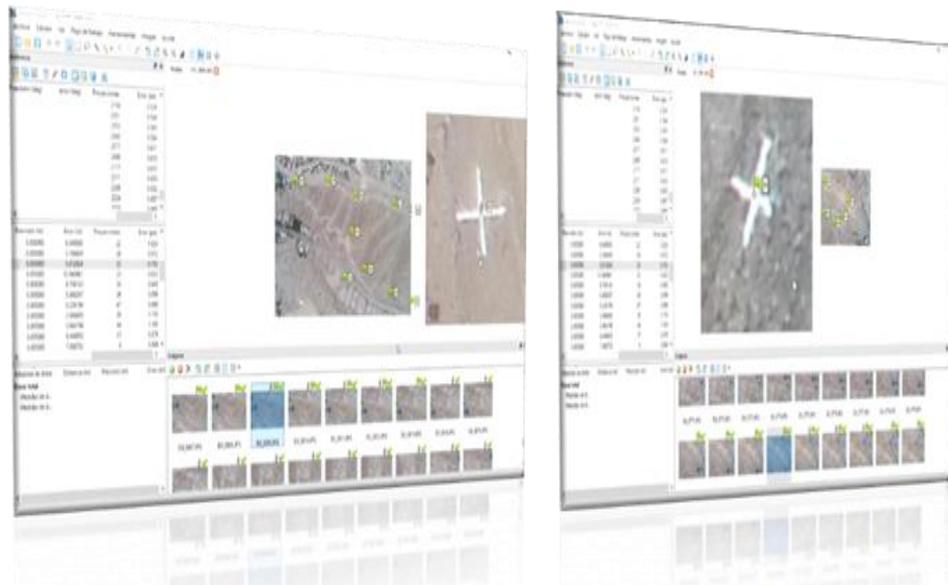
Imágenes y puntos de control terrestre (foto control)



Nota. En la figura se muestra el proceso de cargado de imágenes y marcadores al SoftWare Agisoft Metashape.

Figura 51

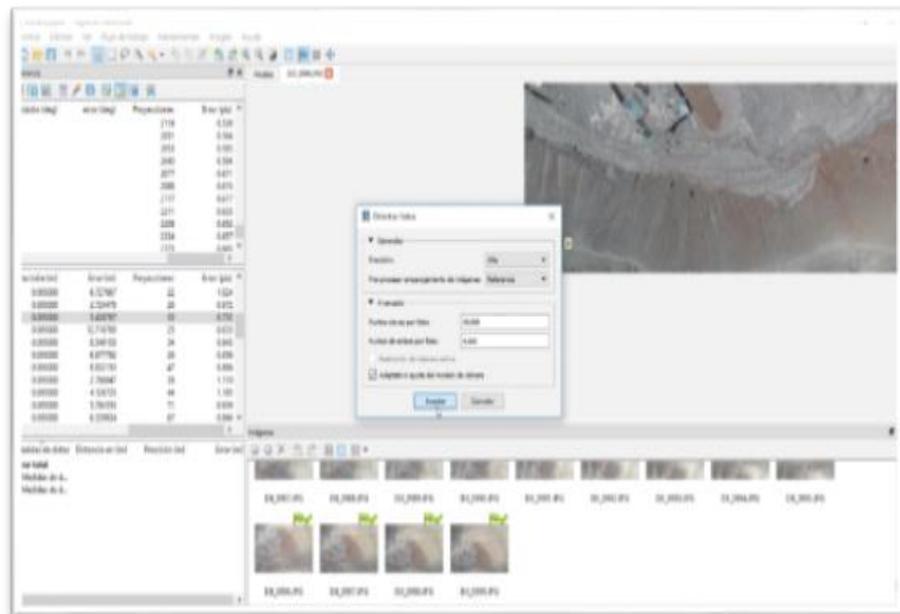
Posicionamiento de marcadores



Nota. En la figura se muestra el proceso de ajuste o calibración de imágenes con el Software Agisoft Metashape.

Figura 52

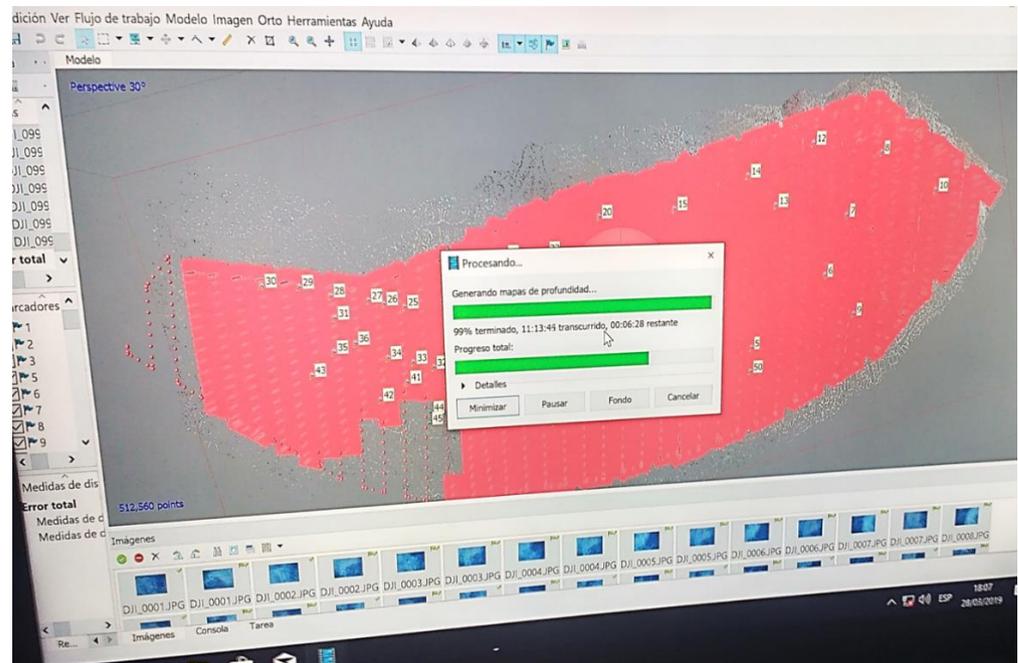
Cargado Puntos control terrestre (foto control)



Nota. En la figura se muestra el proceso de cargado de PCT (Foto Control).

Figura 53

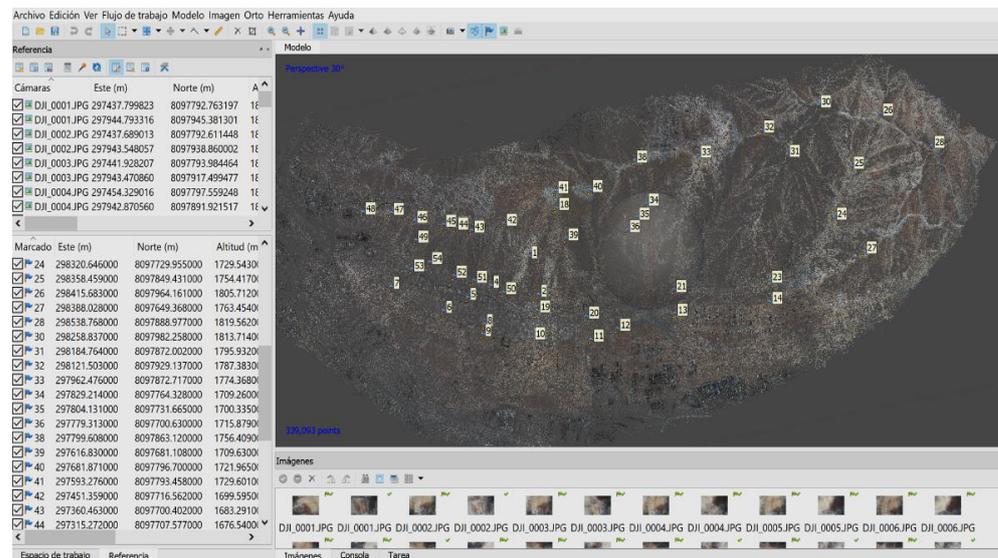
Creación de malla, ajuste, y optimización del área de trabajo



Nota. En la figura se muestra el proceso de ajuste y optimización del área de trabajo

Figura 54

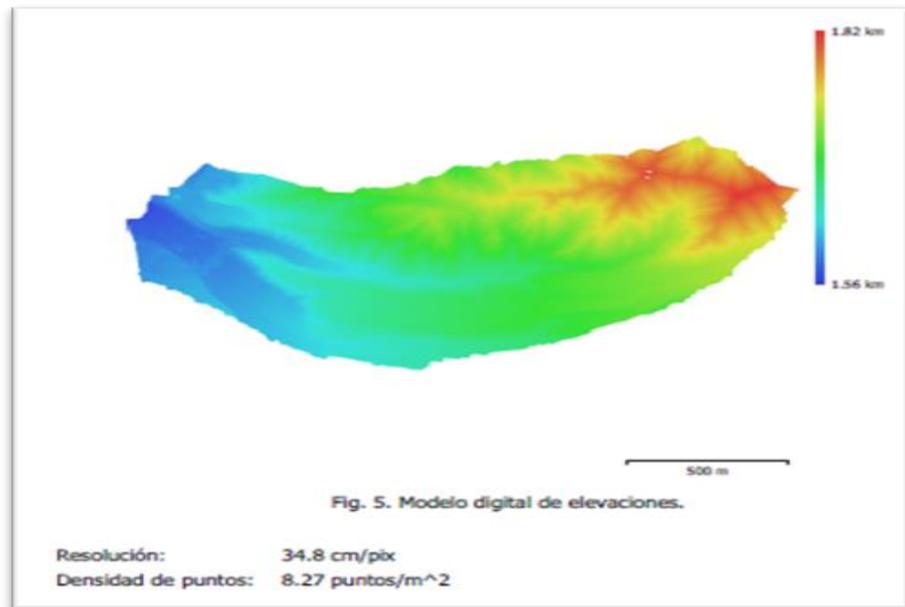
Creación de la Nube de puntos densa



Nota. En la figura se muestra el proceso de creación de Nube de puntos densa.

Figura 55

Generación del MDE Microcuenca Quebrada Camposanto – Moquegua



Nota. En la figura se muestra el modelo digital de elevación obtenido con el Software Agisoft Metashape.

Figura 56

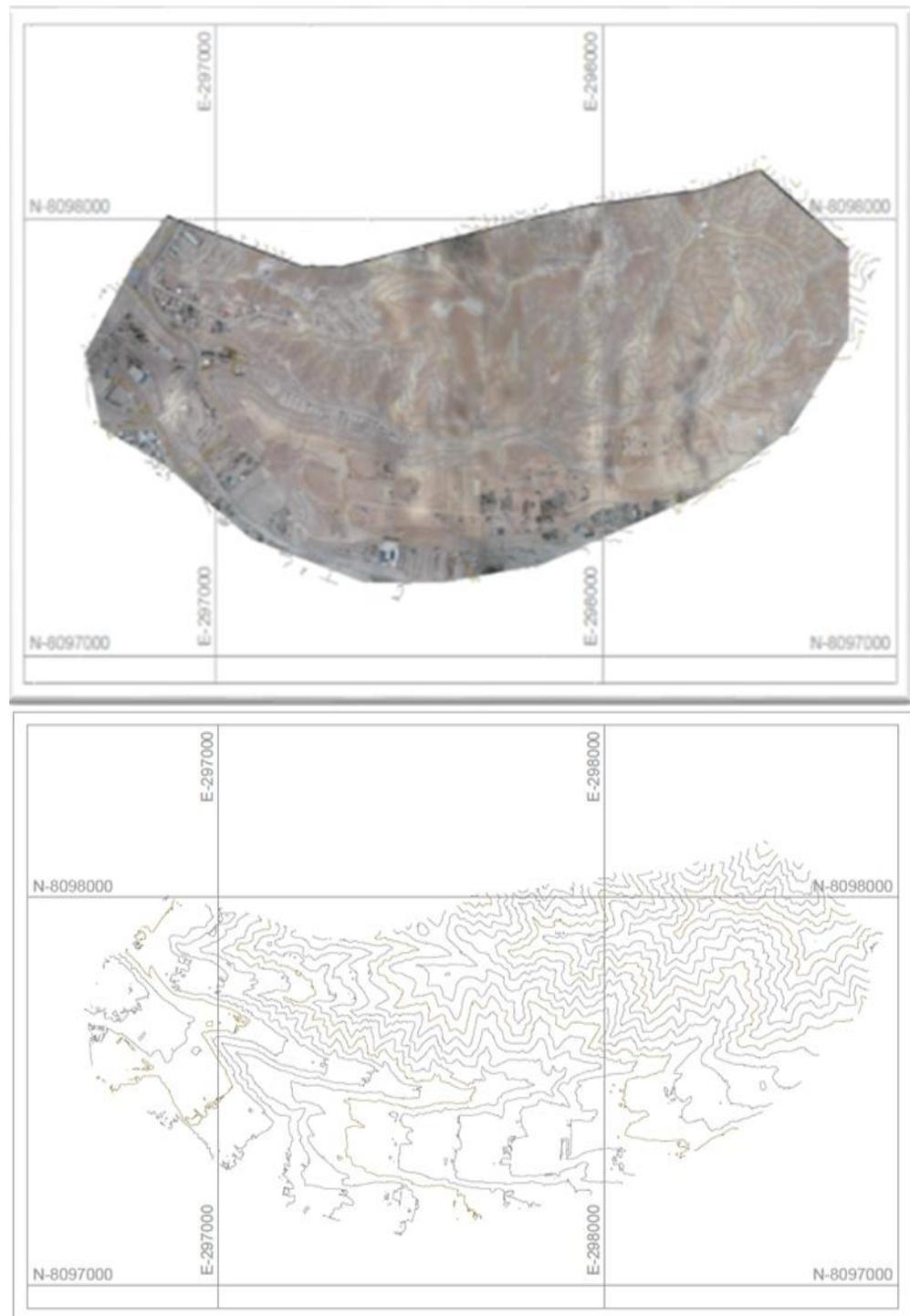
Ortofoto de la Microcuenca Quebrada Camposanto – Moquegua



Nota. En la figura se muestra Ortofoto obtenida con el Software Agisoft Metashape.

Figura 57

Curvas de nivel MDT Microcuenca Quebrada Camposanto – Moquegua

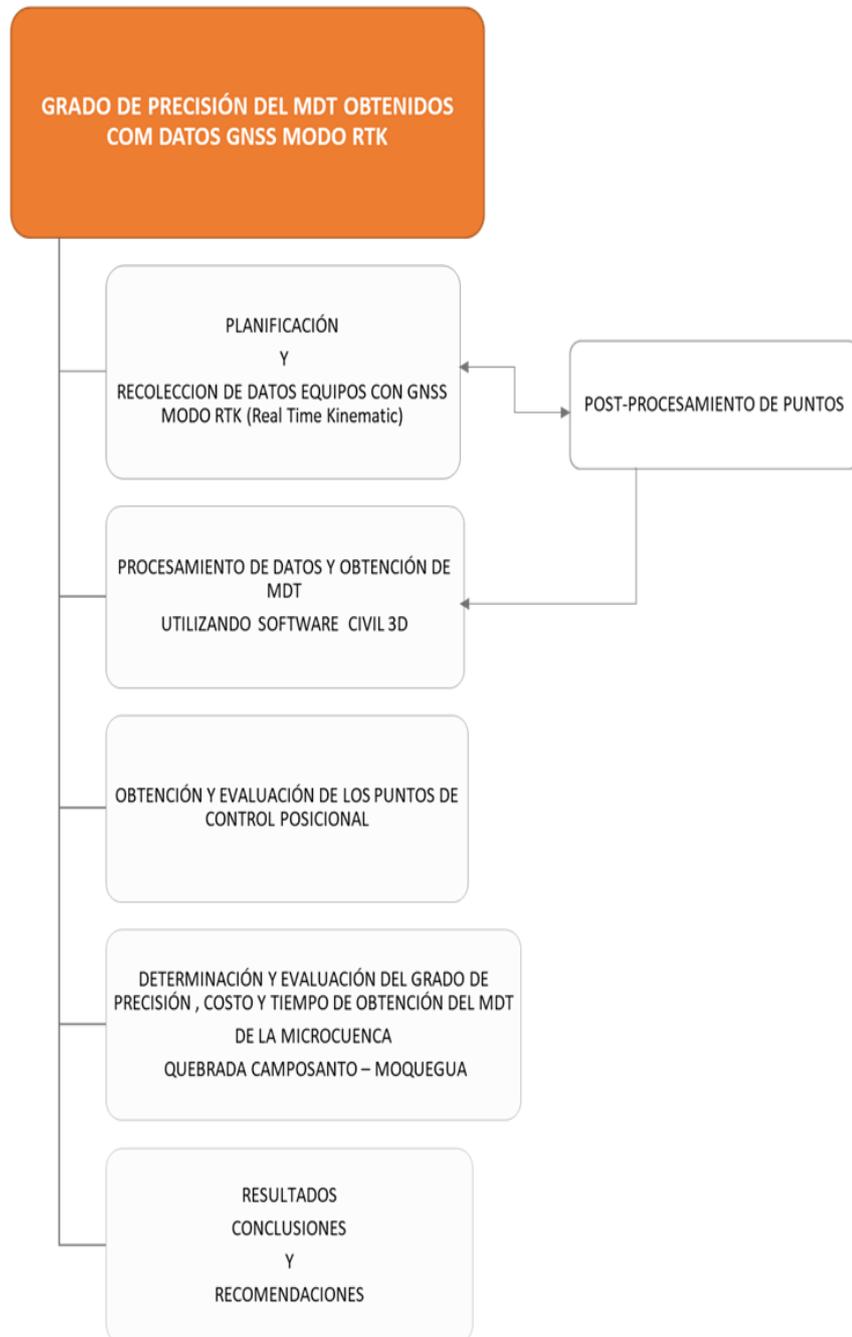


Nota. En la figura se muestra las curvas de nivel del MDT obtenida con el Software Agisoft Metashape, al procesar los datos provenientes del vuelo fotogramétrico RPAS (Drone).

3.7.3. Grado de Precisión el Modelo Digital del Terreno MDT resultado de los Datos GNSS en modo RTK

Figura 58

Flujograma Del MDT obtenidos con datos GNSS modo RTK



Nota: En la figura se muestra el flujograma para determinar el Grado de precisión del MDT resultante de los datos GNSS en modo RTK.

3.7.3.1. PLANIFICACIÓN Y RECOLECCION DE DATOS

EQUIPOS CON GNSS MODO RTK (Real Time Kinematic)

Realizado el proceso de reconocimiento de campo y el establecimiento de puntos de control de orden “C” denominados MOQ 1046 y MOQ 1047; se procede realizar la recolección de datos (coordenadas X, Y, Z) de la superficie terrestre del área de estudio utilizando el método de radiación, para lo cual se empleó 1 equipo GNSS TRIMBLE R6 (Base) que se estaciono respectivamente y según el radio de acción en los puntos antes mencionados, se ha empleado también 4 unidades de equipos (Rover) TRIMBLE R6 enlazados a la base con los culés se ha recolectado los datos a manera de radiación.

Figura 59

Levantamiento topográfico con equipos GNSS (Base) y (Rover)

TRIMBLE R6



Nota. En la figura se muestra el proceso de levantamiento topográfico de la Microcuenca Quebrada Camposanto – Moquegua con equipos GNSS en MODO RTK.

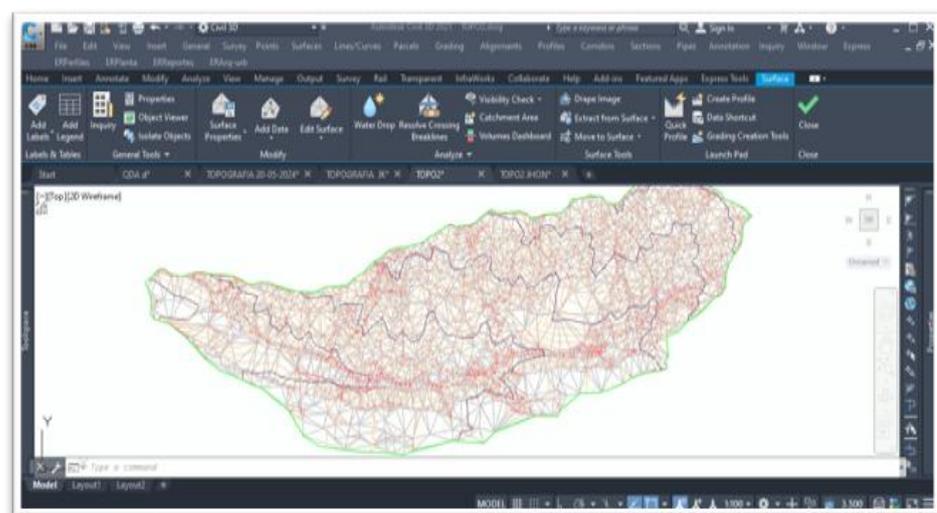
3.7.3.2. PROCESAMIENTO DE DATOS Y OBTENCIÓN DE MDT UTILIZANDO SOFTWARE CIVIL 3D

En esta etapa y contando con las coordenadas de la superficie levantada con los equipos GNSS (modo RKT) (ver Figura 60), se procesó la información con ayuda del Software especializado Civil 3D con el objetivo de obtener el relieve terrestre representado mediante curvas de nivel (MDT) de la Microcuenca Quebrada Camosanto – Moquegua.

Los 50 puntos de control terrestre que fueron establecidos en Modo Fast Static (Estático Rápido) y mencionados en procesos anteriores, no fueron incluidos para la generación del presente (MDT) el cual fue generado exclusivamente con los datos provenientes los datos (coordenadas X, Y, Z) colectados con los equipos GNSS (Rover) TRIMBLE R6 (modo RKT).

Figura 60

TIM y curvas de nivel área de estudio

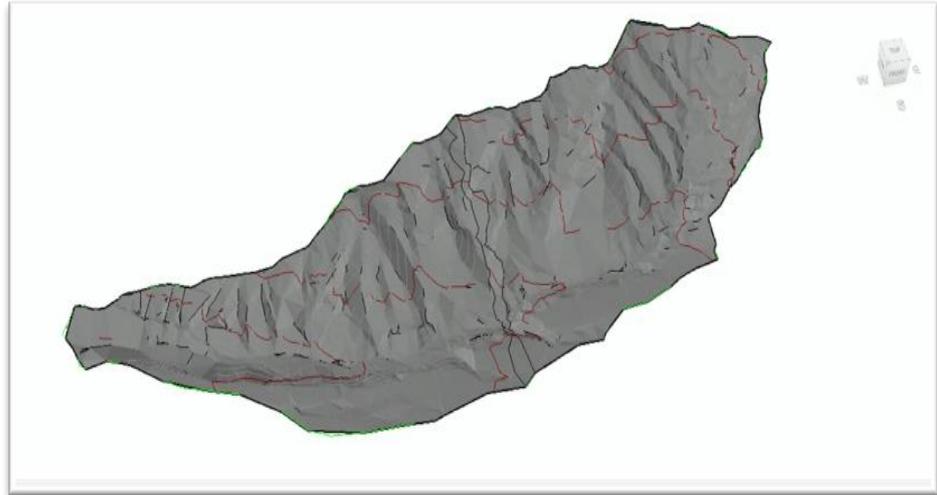


Nota. En la figura se muestra la corrección de la triangulación (TIM) y generación de curvas de nivel con el Software Civil 3D.

Figura 61

Vista 3d Curvas de nivel MDT GNSS Microcuenca Quebrada

Camposanto – Moquegua

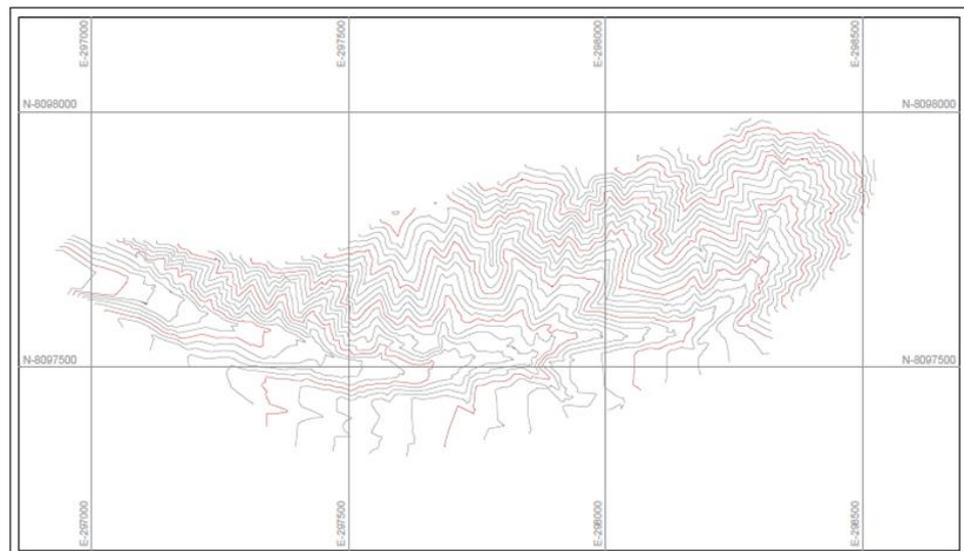


Nota. En la figura se muestra el MDT obtenido con el Civil 3D haciendo uso de los datos registrados con equipos GNSS en modo RTK.

Figura 62

Vista 2D Curvas de nivel MDT GNSS Microcuenca Quebrada

Camposanto – Moquegua



Nota. En la figura se muestra las curvas de nivel de la superficie de terreno obtenido con el Civil 3D.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

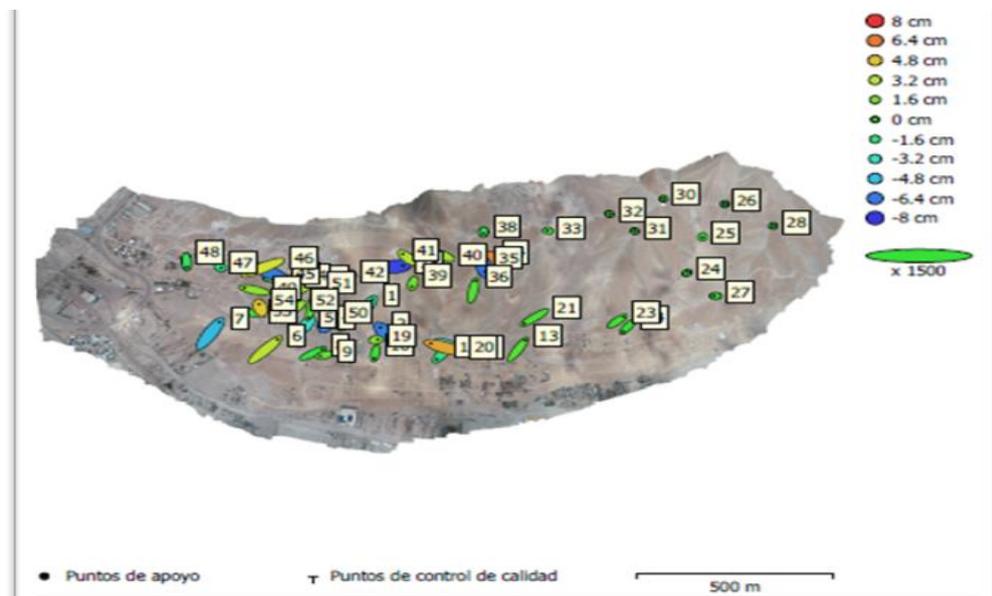
4.1. RESULTADOS DE PRECISIONES DE LOS MODELOS DIGITALES DE TERRENO

4.1.1. Evaluación De Los Puntos De Control Posicional MDT RPAS

Para estimar el error posicional, se utilizaron los valores (X, Y, Z) extraídos de 47 puntos de control terrestre mediante el software Agisoft Metashape, como se detalla en la Tabla 11. Estos datos se emplearán para evaluar la precisión horizontal y vertical de los modelos digitales de terreno, siguiendo las pautas establecidas por el “Instituto Panamericano de Geografía” (ver Anexo 10).

Figura 63

Curvas de nivel MDT Microcuenca Quebrada Camposanto – Moquegua



Nota. En la figura se muestra las posiciones de puntos de apoyo y estimaciones de errores.

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

4.1.1.1. Resultados de precisión horizontal y vertical, errores en X, Y, Z para el MDT RPAS

Formula aplicada para el cálculo Error posicional de cada punto:

$$e_{xi} = x_{pi} - x_i; e_{yi} = y_{pi} - y_i; e_{zi} = z_{pi} - z_i$$

Siendo:

x_i, y_i, z_i , las coordenadas del CDR.

x_{pi}, y_{pi}, z_{pi} , las coordenadas del CDE.

Formula aplicada para el cálculo Error posicional del componente horizontal cada punto errores en x, y en cada punto:

$$e_{Hi} = \sqrt{e_{xi}^2 + e_{yi}^2}$$

Nota: las coordenadas (CDR) son el conjunto de datos de referencia es decir los 47 PCT (fotocontrol) obtenidos y registrados con los equipos GNSS en modo Estático Rápido y los datos CDE son el conjunto de datos a evaluar obtenidos del MDT RPAS coordenadas de control posicional.

Tabla 11

Error posicional X, Y, Z MDT RPAS

Item	Error en X (cm)	Error en Y (cm)	Error en Z (cm)	Descripción Del Punto	Imagen (Pix)
1	1.269	2.485	-2.599	PCT-01	0.387 (61)
2	-1.828	2.510	-6.267	PCT-02	0.441 (70)
3	0.361	1.253	-6.259	PCT-03	0.513 (93)



Item	Error en X (cm)	Error en Y (cm)	Error en Z (cm)	Descripción Del Punto	Imagen (Pix)
4	-1.450	-2.196	-3.564	PCT-04	0.375 (93)
5	4.139	4.608	3.153	PCT-05	0.340 (97)
6	3.090	5.134	-4.902	PCT-06	0.249 (90)
7	3.148	1.974	-0.439	PCT-07	0.449 (81)
8	-1.482	-0.487	1.036	PCT-08	0.320 (90)
9	-0.406	-2.383	0.098	PCT-09	0.305 (82)
10	-1.480	-2.089	-1.817	PCT-10	0.300 (73)
11	4.079	-2.308	-3.152	PCT-11	0.216 (65)
12	2.419	4.120	0.741	PCT-12	0.177 (55)
13	-1.552	-2.229	-0.049	PCT-13	0.110 (32)
14	2.367	0.442	-7.622	PCT-14	0.462 (52)
15	0.612	0.203	1.930	PCT-15	0.484 (87)
16	-4.621	1.756	5.364	PCT-16	0.321 (89)
17	-3.474	-2.815	0.535	PCT-17	0.177 (56)
18	2.181	1.979	0.243	PCT-18	0.123 (30)
19	0.208	0.229	-0.077	PCT-19	0.021 (18)
20	-0.044	-0.279	-0.110	PCT-20	0.038 (19)
21	0.006	0.045	-0.018	PCT-21	0.024 (10)
22	-0.507	-0.012	-0.129	PCT-22	0.020 (15)
23	0.008	0.020	-0.061	PCT-23	0.014 (2)
24	0.005	0.011	0.004	PCT-24	0.001 (2)
25	-0.086	0.078	-0.025	PCT-25	0.008 (5)
26	0.124	-0.115	0.041	PCT-26	0.012 (9)
27	-0.268	0.062	-0.349	PCT-27	0.032 (22)
28	0.832	-1.323	6.172	PCT-28	0.254 (35)
29	0.442	-2.386	-6.524	PCT-29	0.368 (39)
30	0.791	4.296	0.682	PCT-30	0.210 (33)
31	-0.067	-0.675	-0.645	PCT-31	0.054 (27)
32	-0.363	-1.501	1.323	PCT-32	0.381 (51)
33	-2.023	1.212	2.373	PCT-33	0.173 (45)
34	-1.679	1.784	2.828	PCT-34	0.311 (50)
35	-0.182	-0.236	7.078	PCT-35	0.296 (78)

Item	Error en X (cm)	Error en Y (cm)	Error en Z (cm)	Descripción Del Punto	Imagen (Pix)
36	2.535	2.613	2.353	PCT-36	0.525 (67)
37	4.339	-0.034	-1.617	PCT-37	0.680 (75)
38	4.016	-2.260	-6.382	PCT-38	0.761 (67)
39	-5.394	-2.762	3.671	PCT-39	0.458 (87)
40	0.301	-0.347	-2.007	PCT-40	0.371 (77)
41	0.135	-2.514	-0.929	PCT-41	0.240 (87)
42	-3.433	0.942	2.035	PCT-42	0.468 (115)
43	1.311	-2.213	5.052	PCT-43	0.472 (93)
44	-1.771	-7.109	0.788	PCT-44	0.551 (95)
45	-2.567	-2.331	2.310	PCT-45	0.552 (95)
46	-3.693	1.287	0.328	PCT-46	0.376 (136)
47	-0.381	1.619	4.575	PCT-47	0.470 (109)

Nota. Se muestra la tabla con el registro de error posicional horizontal y vertical de los puntos de control terrestre (fotocontrol) donde las coordenadas, X - Este, Y - Norte, Z - Altitud.

4.1.1.2. Resultados de precisión horizontal y vertical, cálculo de error cuadrático medio ECM en X, Y, Z para el MDT RPAS

Formula aplicada para el cálculo del Error Cuadrático Medio (ECM) para cada componente en cada punto:

$$ECM_{XY} = \sqrt{\frac{\sum e_{Xi}^2}{n}}, ECM_Y = \sqrt{\frac{\sum e_{Yi}^2}{n}}, ECM_Z = \sqrt{\frac{\sum e_{Zi}^2}{n}}$$

$$ECM_{XY} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (e_{Xi}^2 + e_{Yi}^2)}{n}}$$

Tabla 12

ECM de Puntos de Control Terrestre (Foto Control)

ECM - MODELOS RPAS				
Numero	Error en X (cm)	Error en Y (cm)	Error en Z (cm)	Error en XY (cm)
47	2.2311	2.2998	3.2907	3.2042

ECM de puntos de control terrestre
X - Este, Y - Norte, Z - Altitud.

Nota. Se muestra los errores cuadráticos medios totales para componentes horizontal (xy) y vertical (z).

4.1.2. Evaluación Del MDT GNSS - RTK

Para estimar el error posicional, se utilizaron los valores (X, Y, Z) extraídos de 47 puntos de control terrestre mediante el software Civil 3D, como se detalla en la Tabla 13. Estos datos se emplearán para evaluar la precisión horizontal y vertical de los modelos digitales de terreno.

4.1.2.1. Resultados de precisión horizontal y vertical, errores en X, Y, Z para el MDT GNSS-RTK.

Formula aplicada para el cálculo Error posicional de cada punto:

$$e_{xi} = x_{pi} - x_i; e_{yi} = y_{pi} - y_i; e_{zi} = z_{pi} - z_i$$

Siendo:

x_i, y_i, z_i , las coordenadas del CDR.

x_{pi}, y_{pi}, z_{pi} , las coordenadas del CDE.

Formula aplicada para el cálculo Error posicional del componente horizontal cada punto errores en x, y en cada punto:

$$e_{Hi} = \sqrt{e_{xi}^2 + e_{yi}^2}$$

Nota: las coordenadas (CDR) son el conjunto de datos de referencia es decir los 47 PCT (fotocontrol) obtenidos y registrados con los equipos GNSS en modo Estático Rápido y los datos CDE son el conjunto de datos a evaluar obtenidos del MDT GNSS-RTK coordenadas de control posicional.



Tabla 13

Error posicional X, Y, Z MDT GNSS RTK

Item	Error en X (cm)	Error en Y (cm)	Error en Z (cm)	Descripción Del Punto
1	1.200	1.100	-0.700	PCT-01
2	2.300	-1.000	1.000	PCT-02
3	-0.900	3.400	3.500	PCT-03
4	-1.200	-3.200	-1.900	PCT-04
5	3.400	-1.700	-2.800	PCT-05
6	0.500	-0.700	-1.100	PCT-06
7	1.500	2.700	-0.300	PCT-07
8	-2.300	1.000	2.000	PCT-08
9	-2.900	-1.000	2.100	PCT-09
10	-0.700	0.800	2.000	PCT-10
11	0.300	-2.700	-1.700	PCT-11
12	-0.800	-3.300	-0.300	PCT-12
13	-1.000	1.400	0.200	PCT-13
14	0.000	0.500	-2.100	PCT-14
15	-2.100	0.800	-0.500	PCT-15
16	2.100	2.500	3.000	PCT-16
17	-2.700	1.700	1.000	PCT-17
18	-0.800	1.000	2.900	PCT-18
19	0.500	0.600	1.400	PCT-19
20	2.200	3.000	-0.900	PCT-20
21	-3.500	-0.200	3.400	PCT-21
22	-0.800	1.800	1.800	PCT-22
23	-1.600	-1.900	1.100	PCT-23
24	-2.300	-0.400	0.700	PCT-24
25	-0.300	0.300	-0.800	PCT-25
26	2.300	2.900	-3.400	PCT-26
27	-1.900	-0.700	-2.300	PCT-27
28	-1.500	1.500	-3.100	PCT-28
29	1.400	0.000	0.000	PCT-29
30	-0.900	-3.000	-2.200	PCT-30
31	-1.600	-0.100	-2.000	PCT-31
32	2.000	-0.300	2.900	PCT-32
33	0.700	-2.700	-0.700	PCT-33
34	1.100	-0.200	-2.800	PCT-34
35	1.000	1.900	-0.500	PCT-35
36	2.000	-2.100	-2.700	PCT-36
37	-1.200	-3.200	-2.700	PCT-37
38	-2.800	-3.000	-1.000	PCT-38
39	-2.900	-2.500	-0.800	PCT-39
40	1.300	2.800	-0.300	PCT-40

Item	Error en X (cm)	Error en Y (cm)	Error en Z (cm)	Descripción Del Punto
41	3.400	2.300	3.000	PCT-41
42	2.500	-0.700	-1.500	PCT-42
43	1.200	-0.600	-0.300	PCT-43
44	2.800	0.500	3.300	PCT-44
45	0.100	-1.700	3.300	PCT-45
46	-1.300	-1.300	-2.200	PCT-46
47	1.500	-0.100	3.400	PCT-47

Nota. Se muestra la tabla con el registro de error posicional horizontal y vertical de los puntos de control terrestre (control posicional) donde las coordenadas, X - Este, Y - Norte, Z - Altitud.

4.1.2.2. Resultados de precisión horizontal y vertical, cálculo de error cuadrático medio ECM en X, Y, Z para el MDT RPAS

Formula aplicada para el cálculo del Error Cuadrático Medio (ECM) para cada componente en cada punto:

$$ECM_{XY} = \sqrt{\frac{\sum e_{Xi}^2}{n}}, ECM_Y = \sqrt{\frac{\sum e_{Yi}^2}{n}}, ECM_Z = \sqrt{\frac{\sum e_{Zi}^2}{n}}$$

$$ECM_{XY} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (e_{Xi}^2 + e_{Yi}^2)}{n}}$$

Tabla 14

ECM de Puntos de Control Terrestre

ECM - MODELO GNSS RTK				
Numero	Error en X (cm)	Error en Y (cm)	Error en Z (cm)	Error en XY (cm)
47	1.8406	1.8731	2.0784	2.6261

ECM de puntos de control terrestre
X - Este, Y - Norte, Z - Altitud.

Nota. Se muestra los errores cuadráticos medios totales para componentes horizontal (xy) y vertical (z).

4.1.3. Evaluación del MDT SRTM

Para estimar el error posicional, se utilizaron los valores (X, Y, Z) extraídos de 47 puntos de control terrestre o posicional mediante el software Qgis, como se detalla en la Tabla 15. Estos datos se emplearán para evaluar la precisión horizontal y vertical de los modelos digitales de terreno.

4.1.3.1. Resultados de precisión horizontal y vertical, errores en X, Y, Z para el MDT SRTM

Formula aplicada para el cálculo Error posicional de cada punto:

$$e_{xi} = x_{pi} - x_i; e_{yi} = y_{pi} - y_i; e_{zi} = z_{pi} - z_i$$

Siendo:

x_i, y_i, z_i , las coordenadas del CDR.

x_{pi}, y_{pi}, z_{pi} , las coordenadas del CDE.

Formula aplicada para el cálculo Error posicional del componente horizontal cada punto errores en x, y en cada punto:

$$e_{Hi} = \sqrt{e_{xi}^2 + e_{yi}^2}$$

Nota: las coordenadas (CDR) son el conjunto de datos de referencia es decir los 47 PCT (fotocontrol) obtenidos y registrados del MDT de referencia (para mayor detalle ver anexo 12) y los datos CDE son el conjunto de datos a evaluar obtenidos del MDT SRTM, es decir las coordenadas de control posicional.



Tabla 15

Error posicional X, Y, Z MDT SRTM

Ítem	Error en X (cm)	Error en Y (cm)	Error en Z (cm)	Descripción Del Punto
1	-27.500	378.600	37.100	PFC-01
2	169.700	173.300	29.530	PFC-02
3	287.000	110.400	22.550	PFC-03
4	47.300	367.000	39.350	PFC-04
5	231.200	194.300	28.010	PFC-05
6	200.100	161.300	26.940	PFC-06
7	240.500	106.500	23.010	PFC-07
8	56.100	341.200	35.740	PFC-08
9	127.200	275.500	33.020	PFC-09
10	103.500	289.800	32.640	PFC-10
11	56.300	275.900	35.380	PFC-11
12	141.600	-11.600	33.960	PFC-12
13	131.000	271.900	33.060	PFC-13
14	114.900	307.200	35.980	PFC-14
15	171.800	245.000	33.340	PFC-15
16	191.600	237.000	29.150	PFC-16
17	175.600	266.900	31.310	PFC-17
18	246.500	256.700	31.680	PFC-18
19	145.800	237.900	34.340	PFC-19
20	163.900	249.000	32.310	PFC-20
21	155.700	288.500	31.550	PFC-21
22	164.100	234.000	30.410	PFC-22
23	150.700	262.500	34.230	PFC-23
24	149.200	285.700	33.910	PFC-24
25	207.300	242.700	32.800	PFC-25
26	136.900	203.800	31.410	PFC-26
27	105.700	309.800	33.200	PFC-27
28	117.600	296.300	34.100	PFC-28
29	177.500	205.500	32.100	PFC-29
30	169.900	183.700	30.920	PFC-30
31	126.700	311.400	33.370	PFC-31
32	124.200	295.100	35.270	PFC-32
33	295.500	195.900	26.680	PFC-33
34	223.600	184.200	25.180	PFC-34
35	211.900	173.200	27.580	PFC-35
36	234.400	155.600	27.780	PFC-36
37	228.900	180.200	28.950	PFC-37
38	213.000	188.200	28.020	PFC-38
39	229.000	163.800	28.020	PFC-39
40	234.000	181.600	27.680	PFC-40
41	209.700	139.000	25.410	PFC-41

Ítem	Error en X (cm)	Error en Y (cm)	Error en Z (cm)	Descripción Del Punto
42	270.200	107.000	24.570	PFC-42
43	343.900	-54.500	11.010	PFC-43
44	255.500	140.900	28.280	PFC-44
45	216.300	126.800	25.890	PFC-45
46	211.100	129.500	26.720	PFC-46
47	210.800	154.100	28.410	PFC-47

Nota. Se muestra la tabla con el registro de error posicional horizontal y vertical de los puntos de control terrestre donde las coordenadas, X - Este, Y - Norte, Z – Altitud.

4.1.3.2. Resultados de precisión horizontal y vertical, cálculo de error cuadrático medio ECM en X, Y, Z para el MDT SRTM

Formula aplicada para el cálculo del Error Cuadrático Medio (ECM) para cada componente en cada punto:

$$ECM_{XY} = \sqrt{\frac{\sum e_{Xi}^2}{n}}, ECM_Y = \sqrt{\frac{\sum e_{Yi}^2}{n}}, ECM_Z = \sqrt{\frac{\sum e_{Zi}^2}{n}}$$

$$ECM_{XY} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (e_{Xi}^2 + e_{Yi}^2)}{n}}$$

Tabla 16

Modelo SRTM

ECM - MODELO SRTM				
Número	Error en X (cm)	Error en Y (cm)	Error en Z (cm)	Error en XY (cm)
47	190.6434	229.9538	30.6201	298.7033

ECM de puntos de control terrestre
X - Este, Y - Norte, Z - Altitud.

Nota. Se muestra los errores cuadráticos medios totales para componentes horizontal (xy) y vertical (z).

4.1.4. Resumen de Resultados de precisión horizontal y vertical, cálculo del ECM en X, Y, Z para el MDT GNSS-RTK, SRTM y RPAS

Se considera la tabla de tolerancias para determinar y verificar las precisiones según lo descrito en la especificación técnica para generar cartografía básica (E. T.G. C. B. escala 1:5000, 2011, p. 52).

Figura 64

Tolerancias para producción de cartografía básica

	Instituto Geográfico Nacional		
	Norma Técnica	V1.0	Mayo 2011
			Escala 1:5 000

Precisiones

Precisión de los puntos de apoyo:

Planimetría: RMSE menor o igual a 0,10 m.

Altimetría: RMSE menor o igual a 0,15 m. RMSE: Random Mean Square Error (Error Medio Cuadrático).

Nota. En la figura se muestra las tolerancias o precisiones requeridas para la generación de cartografía básica escala 1:5000 fuente IGN mayo 2011.

De donde se obtiene:

Precisión Planimetría $XY \leq a 10\text{cm}$

Precisión Altimetría $Z \leq a 15\text{cm}$

Tabla 17

Resumen de Errores Medios cuadráticos

PRUEBAS	CANTIDAD DE PUNTOS	ERROR XY (cm)	ERROR Z (cm)	XY	Z
MDT GNSS-RTK	47	2.6261	2.0784	SI	SI
MDT RPAS	47	3.2042	3.2907	SI	SI
MDT SRTM	47	298.7033	30.6201	NO	NO

Nota. Tabla de aceptación y rechazo de precisiones según (IGN-2011).

4.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

4.2.1. PRECISIÓN DE MDT - RPAS

Para la precisión del MDT con RPAS se determinó en dos etapas, la primera la precisión de la vertical y la segunda la precisión en la horizontal.

Para determinar la precisión Vertical del MDT del RPAS se trabajó con la diferencia de elevaciones de los puntos obtenidos con el RPAS con respecto a las elevaciones de los puntos obtenidos con el GNSS de los puntos de foto control.

4.2.1.1. RESUMEN ESTADÍSTICO

Se trabajó la estadística con los datos mostrados en la tabla 9, la que muestra los errores en X, Y y Z. para la determinación de la precisión se tomó como referencia las recomendaciones de la “guía para la evaluación de la exactitud posicional de datos espaciales” donde menciona lo siguiente:

La exactitud se evalúa a nivel de conjunto de datos y se describe mediante dos términos en la Norma Internacional ISO 5725-1. "Veracidad" se refiere a qué tan cercana es la media de un gran número de resultados de ensayos al valor verdadero o de referencia aceptado, mientras que "precisión" se refiere a la concordancia entre los diferentes resultados y no está relacionada con el valor verdadero o de referencia aceptado (Ariza et al., 2019).

$$\textit{Exactitud} = \textit{Veracidad} + \textit{Precisión}$$

Veracidad, conforme a la definición anterior, se equipará a un promedio de sesgo. Aunque los datos individuales pueden tener discrepancias posicionales (errores), el conjunto de datos muestra un sesgo. Este sesgo está asociado con la presencia de errores sistemáticos que pueden o no atribuirse a una causa. Si se pueden atribuir, pueden eliminarse de los datos (Ariza et al., 2019).

Precisión. Se evalúa a nivel de conjunto de datos. En una característica cuantitativa específica, la precisión se refiere a la cercanía entre múltiples medidas repetidas que se consideran independientes. Esta cercanía generalmente se evalúa mediante la variabilidad o dispersión en las medidas y se cuantifica comúnmente utilizando la desviación estándar (σ) (Ariza et al., 2019).

4.2.1.2. ANALIS ESTADÍSTICO MDT – RPAS

Tabla 18

Resumen Estadístico ERROR horizontal y vertical del MDT RPAS con respectó a PCT establecidos

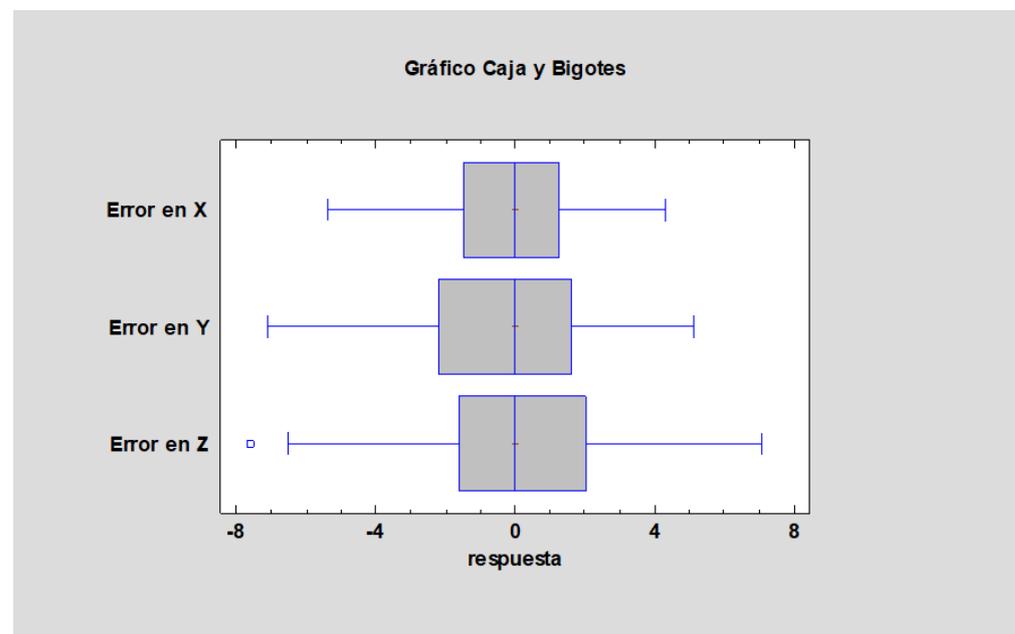
Descripción	Error X	Error Y	Error Z	Error horiz.
Recuento	47	47	47	47
Promedio	-0.000702128	0.00123404	-0.0176596	2.58325
Desviación Estándar	2.25529	2.32462	3.32628	1.91623
Coefficiente de Variación	-321208.00%	188374.00%	-18835.60%	74.18%
Mínimo	-5.394	-7.109	-7.622	0.012083
Máximo	4.339	5.134	7.078	7.32628
Rango	9.733	12.243	14.7	7.31419

Descripción	Error X	Error Y	Error Z	Error horiz.
Sesgo Estandarizado	-0.206568	-0.313184	-0.940863	1.21997
Curtosis Estandarizada	0.0588213	1.36227	0.369857	-0.706361

Como se puede apreciar en la tabla 12, se cuenta con mejores precisiones en las coordenadas X, seguido de las coordenadas Y y Z, con valores de precisión de 2.255, 2.325 y 3.326 respectivamente. Igualmente podemos mencionar que en la tabla 12 se aprecia que el error en X presenta menor rango de errores con un rango del 9.733 cm, seguido de error en Y con un rango de 12.243, y de 14.7 en el error Z.

Figura 65

Diagrama de cajas de ERROR horizontal y vertical para el MDT RPAS.



En el cuadro de cajas podemos observar que las medias de los datos de errores en X, Y y Z están muy cercanos a 0 (cero), y que su exactitud por consiguiente está cercana a cero, pero tiene una variación de +- 4.339 cm, +-5.134 cm y del +-7.078 cm en X, Y y Z respectivamente.

Para determinar si existe diferencia estadística entre los errores X, Y y Z se ha aplicado El Análisis ANOVA.

Tabla 19

ANOVA para ERROR MDT RPAS

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	0.0101563	2	0.00507813	0.00	0.9993
Intra grupos	991.497	138	7.18476		
Total (Corr.)	991.507	140			

En la tabla ANOVA se ha descompuesto la varianza de los datos en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 0.000706792, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0.05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 3 variables con un nivel del 5% de significación.

Para determinar cuál de ellos son diferentes se ha realizado una prueba de múltiples rangos Tukey.

Tabla 20

Pruebas de Múltiple Rangos Tukey al 95%.

	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
Error en Z	47	-0.0176596	X
Error en X	47	-0.000702128	X
Error en Y	47	0.00123404	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
Error en X - Error en Y		-0.00193617	1.30691
Error en X - Error en Z		0.0169574	1.30691
Error en Y - Error en Z		0.0188936	1.30691

4.2.1.3. ANALIS ESTADÍSTICO MDT - GNSS RTK

Tabla 21

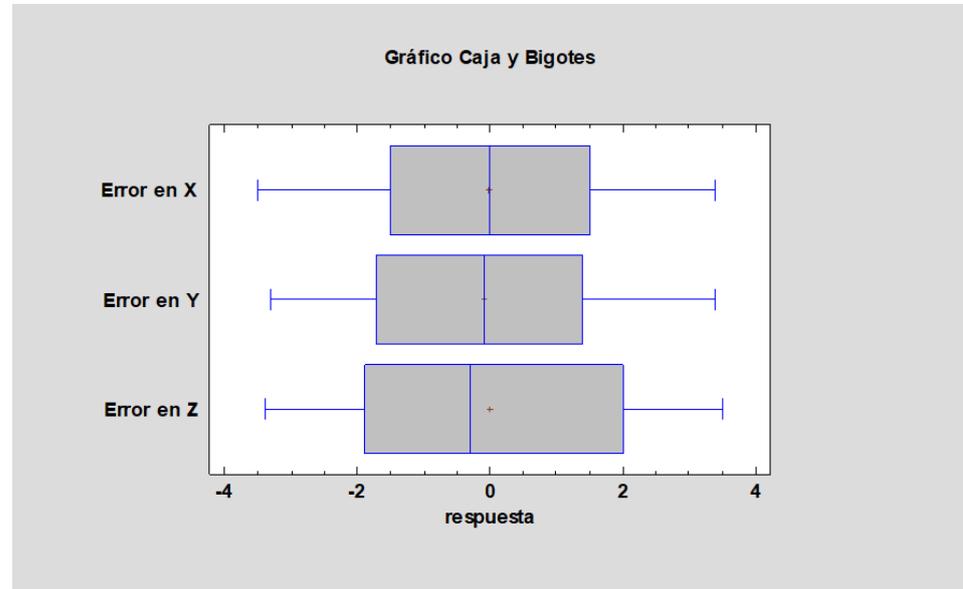
Resumen Estadístico ERROR horizontal y vertical para el MDT – GNSS modo RTK con respecto a PCT.

Descripción	Error X	Error Y	Error Z	Error horiz.
Recuento	47	47	47	47
Promedio	-0.0148936	-0.0808511	0.00851064	2.42553
Desviación Estándar	1.86046	1.89159	2.10081	0.999667
Coefficiente de Variación	-12491.60%	-2339.60%	24684.50%	41.21%
Mínimo	-3.5	-3.3	-3.4	0.4
Máximo	3.4	3.4	3.5	4.1
Rango	6.9	6.7	6.9	3.7
Sesgo Estandarizado	0.0623206	-0.125087	0.720394	-0.543485
Curtosis Estandarizada	-1.45984	-1.25889	-1.60314	-1.31633

Como se puede apreciar en la tabla 15, se cuenta con mejores precisiones en las coordenadas X, seguido de las coordenadas Y y Z, con valores de precisión de 1.86, 1.89 y 2.10 respectivamente. Igualmente podemos mencionar que en la tabla 14 se aprecia que el error en X presenta menor rango de error con valor de 6.9 cm, seguido de error en Y con un rango de 6.7, y de 6.9 en el error Z.

Figura 66

Diagrama de cajas de ERROR horizontal y vertical para el MDT – GNSS modo RTK



En el cuadro de cajas podemos observar que las medias de los datos de errores en X, Y y Z están muy cercanos a 0 (cero), y que su exactitud por consiguiente está cercana a cero, pero tiene una variación de ± 3.4 cm, ± 3.4 cm y del ± 3.5 cm en X, Y y Z respectivamente.

Para determinar si existe diferencia estadística entre los errores X, Y y Z se ha aplicado El Análisis ANOVA.

Tabla 22

ANOVA para ERROR MDT – GNSS RTK

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	0.201844	2	0.100922	0.03	0.9739
Intra grupos	526.829	138	3.8176		
Total (Corr.)	527.031	140			

En la tabla ANOVA se ha descompuesto la varianza de los datos en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 0.026436, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0.05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 3 variables con un nivel del 5% de significación.

Para determinar cuál de ellos son diferentes se ha realizado una prueba de múltiples rangos Tukey.

Tabla 23

Pruebas de Múltiple Rangos Tukey al 95%.

	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
Error en Y	47	-0.0808511	X
Error en X	47	-0.0148936	X
Error en Z	47	0.00851064	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
Error en X - Error en Y		0.0659574	0.95265
Error en X - Error en Z		-0.0234043	0.95265
Error en Y - Error en Z		-0.0893617	0.95265

4.2.1.4. ANALIS ESTADÍSTICO MDT - SRTM

Tabla 24

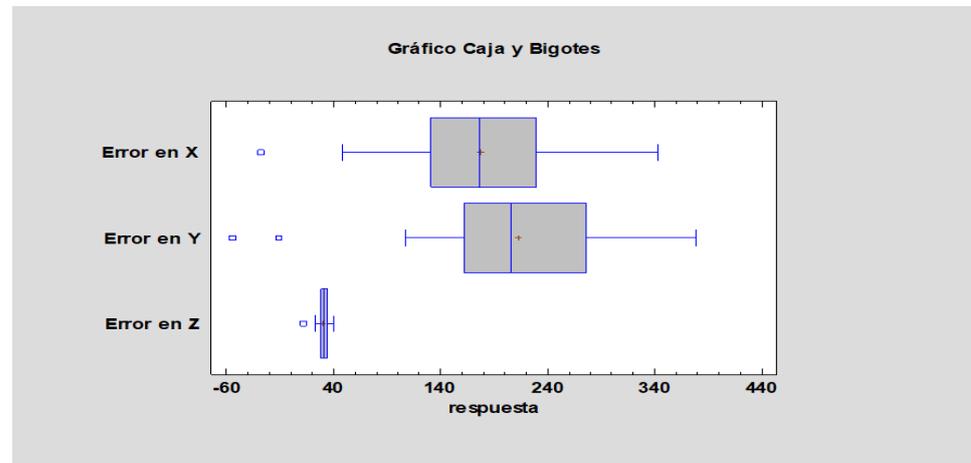
Resumen Estadístico ERROR horizontal y vertical para el MDT – SRTM con respecto a los PCT.

Descripción	Error X	Error Y	Error Z	Error horiz.
Recuento	47	47	47	47
Promedio	177.604	213.155	30.2521	295.967
Desviación Estándar	70.0429	87.2089	4.78408	40.7752
Coefficiente de Variación	39.44%	40.91%	15.81%	13.78%
Mínimo	-27.5	-54.5	11.01	142.07
Máximo	343.9	378.6	39.35	379.6
Rango	371.4	433.1	28.34	237.53
Sesgo Estandarizado	-1.07553	-1.95816	-3.79658	-2.42278
Curtosis Estandarizada	1.15495	1.71481	6.14229	4.59138

Como se puede apreciar en la tabla 18, se cuenta con mejores precisiones en las coordenadas Z, seguido de las coordenadas X y Y, con valores de precisión de 4.78, 70.04 y 87.21 respectivamente. Igualmente podemos mencionar que en la tabla 18 se aprecia que el error en Z presenta menor rango de error con valor de 28.34 cm, seguido de error en X con un rango de 371.4, y de 433.1 en el error Y.

Figura 67

Diagrama de cajas de ERROR horizontal y vertical para el MDT - SRTM



En el cuadro de cajas podemos observar que las medias de los datos de errores en X, Y y Z están muy alejados a 0 (cero), y que su exactitud por consiguiente está muy alejada a cero, teniendo una variación de ± 39.35 cm, ± 343.9 cm y del ± 378.6 cm en Z, X y Y respectivamente.

Para determinar si existe diferencia estadística entre los errores X, Y y Z se ha aplicado El Análisis ANOVA.

Tabla 25

ANOVA para ERROR MDT – SRTM

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	884072.	2	442036.	105.80	0.0000
Intra grupos	576577.	138	4178.1		
Total (Corr.)	1.46065E6	140			

La tabla ANOVA divide la variabilidad de los datos en dos partes: una parte que se encuentra entre los grupos y otra que se encuentra dentro de los grupos. La razón-F, que aquí es de 105.798, se obtiene al dividir la variabilidad entre grupos por la variabilidad dentro de los grupos. Dado que el valor-p de la prueba-F es menor que 0.05, hay una diferencia

estadísticamente significativa entre las medias de las tres variables con un nivel de significancia del 5%.

Para determinar cuál de ellos son diferentes se ha realizado una prueba de múltiples rangos Tukey.

Tabla 26

Casos de grupos

	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
Error en Z	47	30.2521	X
Error en X	47	177.604	X
Error en Y	47	213.155	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
Error en X - Error en Y	*	-35.5511	31.5157
Error en X - Error en Z	*	147.352	31.5157
Error en Y - Error en Z	*	182.903	31.5157

* indica una diferencia significativa.

4.2.1.5. RESUMEN ESTADISTICO GENERAL DE ERRORES

HORIZONTALES Y VERTICALES DE LOS MDTs – RPS, GNSS(RTK) Y SRTM

Tabla 27

Resumen general de errores horizontales y verticales

<i>Descripción</i>	<i>MDT - RPAS</i>				<i>MDT - GNSS-RTK</i>				<i>MDT - SRTM</i>			
	<i>Error X</i>	<i>Error Y</i>	<i>Error Z</i>	<i>Error horiz.</i>	<i>Error X</i>	<i>Error Y</i>	<i>Error Z</i>	<i>Error horiz.</i>	<i>Error X</i>	<i>Error Y</i>	<i>Error Z</i>	<i>Error horiz.</i>
Recuento	47.00	47.00	47.00	47.00	47.00	47.00	47.00	47.00	47.00	47.00	47.00	47.00
Promedio	0.00	0.00	-0.02	2.58	-0.01	-0.08	0.01	2.43	177.60	213.16	30.25	295.97
Desviación Estándar	2.26	2.32	3.33	1.92	1.86	1.89	2.10	1.00	70.04	87.21	4.78	40.78
Coefficiente de Variación	-3212.08	1883.74	-	0.74	-124.92	-23.40	246.85	0.41	0.39	0.41	0.16	0.14
Mínimo	-5.39	-7.11	-7.62	0.01	-3.50	-3.30	-3.40	0.40	-27.50	-54.50	11.01	142.07
Máximo	4.34	5.13	7.08	7.33	3.40	3.40	3.50	4.10	343.90	378.60	39.35	379.60
Rango	9.73	12.24	14.70	7.31	6.90	6.70	6.90	3.70	371.40	433.10	28.34	237.53
Sesgo Estandarizado	-0.21	-0.31	-0.94	1.22	0.06	-0.13	0.72	-0.54	-1.08	-1.96	-3.80	-2.42
Curtosis Estandarizada	0.06	1.36	0.37	-0.71	-1.46	-1.26	-1.60	-1.32	1.15	1.71	6.14	4.59



4.3. DISCUSIONES

Según (Del Rio santana et al. 2020), en su investigación denominada “Comparative analysis of tradicional Topography Survey and drone tecnología”, establece que la fotogrametría con UAV, cumple con los requisitos de precisión, exactitud posicional requeridos para la generación de documentación y registro de procesos mineros.

Resultado con el cual se está de acuerdo dado que la precisión horizontal y vertical obtenidas en el presente proyecto de investigación, resultantes de procesar los datos fotogramétricos con drone RPAS fueron los siguientes: En lo horizontal se alcanzó un promedio de 1.92 cm y una precisión vertical de 3.33 cm. Estos valores cumplen con las tolerancias especificadas en la normativa técnica para la generación de cartografía básica a escala 1:5000.

Según (Hinostroza Quijada 2021), Examino los errores máximos aceptables entre el levantamiento topográfico utilizando drones y el Sistema de Posicionamiento Global Diferencial. Concluyendo en este estudio, que el levantamiento realizado con el Sistema de Posicionamiento Global Diferencial es más preciso, con un error máximo de 0.674 metros en altimetría y 0.007 metros en planimetría, en comparación con el dron.

Se afirma este resultado toda vez que en la presente investigación se obtuvo como precisión horizontal el promedio de 1.0cm y una vertical de 2.10 cm, siendo estas superiores a las obtenida del procesamiento los datos RPAS y SRTM.



V. CONCLUSIONES

- De acuerdo con el primer objetivo específico al determinar el grado de precisión Horizontal (X Y) de los modelos digitales del terreno (MDTs) resultante de los datos SRTM, RPAS y GNSS-RTK; Se concluye que, se consigue mejor precisión con el uso de datos del GNSS-RTK con un valor promedio de 1.00 cm, seguido del RPAS con una precisión promedio de 1.92 cm y finalmente se tiene al SRTM con una precisión en promedio de 40.78cm de error horizontal.
- De acuerdo con el segundo objetivo específico al determinar el grado de precisión Vertical (Z) de los modelos digitales del terreno (MDTs) resultante de los datos SRTM, RPAS y GNSS-RTK; Se concluye que, se consigue mejor precisión con el uso de datos GNSS-RTK con un valor promedio de 2.10 cm, seguido del RPAS con una precisión promedio de 3.33 cm y finalmente se tiene al SRTM precisión en promedio de 4.78cm de error horizontal.
- Finalmente podemos concluir que los MDTs de que cumplen con las tolerancias establecida por el IGN, para la generación de cartografía base requerida a escala 1:5000 son los obtenidos con dato GNSS-RTK y RPAS, siendo el primero el de mayor precisión registrada.



VI. RECOMENDACIONES

- Es recomendable ejecutar los vuelos fotogramétricos con el Drone, en condiciones de buena iluminación y climáticas favorables, dado que las condiciones adversas como presencia de nubosidad, lluvia o vientos fuertes pueden generar como resultado vuelos interrumpidos, imágenes(fotos) distorsionadas con presencia de sombras excesivas, y también generar daños al equipo o su pérdida.
- Se recomienda para el proceso de levantamiento fotogramétrico con Dron, establecer los puntos de control terrestre o fotocontrol distribuidos equitativamente en el área de estudio considerando su ubicación en zonas de cambio de pendiente agreste, condición crucial para el registro terreno escarpado y/o ondulado; se sugiere también abarcar mayor área o región adicional al contemplado como zona de estudio, toda vez que al generar el MDT y su respectivo ortomosaico se registran con frecuencia la falta de datos y distorsionarse en el contorno o perímetro del área total de estudio, así mismo se precisa que mediante este método de obtención de datos para la generación del MDT requerido se minimiza la exposición a los riesgos al que se expone el personal frente a caídas de desnivel y demás accidentes que se podrían registrar empleando el método tradicional o de medición directa en terrenos escarpados y de difícil acceso.
- Se recomienda el uso de datos SRTM para generar ráster de escalas mayores a 1/100000.



VII. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS

- Adenilson, G. (2024). *Topografía e Geotecnologías*.
<https://adenilsongiovanini.com.br/blog/>
- Aguilera, R. P. (2019). *El uso del dron y la vulneración al derecho a la privacidad*.
- Amazing City. (2024). *Dem, DSM y DTM Diferencias: una mirada a los modelos de elevación en SIG* -. <https://amazingcity.es/dem-dsm-y-dtm-diferencias-una-mirada-a-los-modelos-de-elevacion-en-sig/>
- Ariza, F., Garcia, J., Rodriguez, J., & Robledo, J. (2019). GUÍA PARA LA EVALUACIÓN DE LA EXACTITUD POSICIONAL DE DATOS ESPACIALES. *Instituto Panamericano de Geografía e Historia*, 66.
- Ariza López, F. J. (2002). *INSTITUTO PANAMERICANO DE GEOGRAFÍA E HISTORIA*.
- Arranz, J. J. (2010). *Modelos digitales del terreno*.
<http://pdi.topografia.upm.es/cepeda/Curso2792/Fotogrametria/MDT.pdf>
- Balasubramanian, A. (2017). Digital elevation model (DEM) in GIS. *University of Mysore*.
- Becerra Triana, W. L., & Nieto Ortega, J. J. (2021). *Elaboración de modelos digitales de terreno por medio de fotogrametría obtenida por tecnología Drone, relacionado con el método convencional, en la intersección de la vía Saboyá Sutamarchán con la ruta 45ª, Boyacá-Colombia*.
- Burgos, V. H., & Salcedo, A. P. (2014). Modelos digitales de elevación: Tendencias, correcciones hidrológicas y nuevas fuentes de información. *Encuentro de Investigadores En Formación En Recursos Hídricos (2, 2014, Ezeiza, Buenos Aires, Argentina)*. Disponible En: [Http://Www. Ina. Gov. Ar/Ifrh-2014/Eje1/1.11. Pdf](http://www.ina.gov.ar/Ifrh-2014/Eje1/1.11.Pdf). Consultado, 1(10), 2015.
- Chambilla, H. F., & Mamani, N. (2018). *Diferencia de áreas de los predios catastrales con estación total, dron e imágenes satelitales del Centro Poblado de Salcedo–Puno*.



- Chávez Servia, J. L., Tuxill, J., & Jarvis, D. I. (2004). *Manejo de la diversidad de los cultivos en los agroecosistemas tradicionales*. Bioersivity International.
- Cpetecnologia. (2014). *mdt-e-mds.png (774×477)*.
<https://blog.cpetecnologia.com.br/wp-content/uploads/2019/09/mdt-e-mds.png>
- Cuba Jerí, H. J. (2016). *Aplicación de métodos fotogramétricos con sistema aéreo remotamente piloteado y su eficiencia en el registro de monumentos históricos*. Mangomarca, lima-2016.
- Dale, P. F. (1996). *Los levantamientos catastrales y el de la propiedad de la tierra*.
<https://www.fao.org/4/v4860s/V4860S04.htm>
- Del Río Santana, O., Gómez Córdova, F., López Carrillo, N., Saenz Esqueda, J., & Espinoza Fraire, A. T. (2020). Comparative analysis of traditional topographic survey and drone technology. *Revista de Arquitectura e Ingeniería*, 14(2), 1–10.
- Díaz Pabló, A., Villegas Paredes, E., & Lavado Casimiro, W. (2015). *SISTEMAS DE SEGUIMIENTO DE LA ESCORRENTÍA A NIVEL NACIONAL DIRECCIÓN GENERAL DE HIDROLOGÍA Y RECURSOS HIDRICOS 2 PERSONAL DIRECTIVO*.
- Ecoscript. (2024). *Diferencias de DSM, DEM, DTM – EcoScript*.
https://ecoscript.org/dsm-dem-dtm/#google_vignette
- Euillades, P., & Vénere, M. J. (2003). Corrección de modelos de elevación en base a un conjunto de puntos seguros. *Revista Internacional de Métodos Numéricos*.
- García, J. C. (2024). ▷ **【 ¿Qué es y cómo funciona GNSS? 】**.
<https://gpstotal.org/es/gps/gnss>
- GCF. (2018). *Vehículo aéreo no tripulado (UAV) - Qué es, definición y concepto - Muy Tecnológicos*. <https://www.muytecnologicos.com/diccionario-tecnologico/vehiculo-aereo-no-tripulado-uav>



- Hinostroza Quijada, P. S. (2021). *Evaluación de errores máximos permisibles entre levantamiento topográfico empleando dron y sistema de posicionamiento global diferencial.*
- IDS. (2020). *Diferencias entre los Modelos Digitales de Terreno.*
<https://www.idstopografia.com/diferencias-entre-los-modelos-digitales-de-terreno/>
- IGN. (2011). *Especificaciones técnicas para la producción de cartografía básica escala 1:5 000.*
- IGN. (2015a). *Instituto Geográfico Nacional Norma Técnica Geodésica VI.0 diciembre 2015 Posicionamiento Geodésico “Año de la Diversificación Productiva y del Fortalecimiento de la Educación” NORMA TÉCNICA GEODÉSICA ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA POSICIONAMIENTO GEODÉSI.*
- IGN. (2020). *Geodesia - Instituto Geográfico Nacional.*
<https://www.ign.es/web/ign/portal/gds-teoria-geodesia>
- IGN, P. (2015b). *Especificaciones técnicas para levantamientos geodésicos verticales.* Instituto Geográfico Nacional de Perú.
- IGN-Argentina. (2020). *Introducción | Instituto Geográfico Nacional.*
<https://www.ign.gob.ar/NuestrasActividades/Geodesia/ModeloDigitalElevaciones/Introduccion>
- Jarrín, A. J. (2020). *Análisis de modelos digitales de terreno para la obtención de un mapa de densidad de drenaje mediante softwares fotogramétricos y sistemas de información geográfica para imágenes obtenidas con UAV, resultados aplicados a estudios morfométricos en laderas.* Quito, 2020.
- Justel, J. J. A. (2010). Dos modelos cartográficos: Geometría única con multicodificación vs geometría duplicada. *Catastro: Formación, Investigación y Empresa: Selección de Ponencias Del I Congreso Internacional Sobre Catastro Unificado y Multipropósito*, 389–402.



- Knisely, T. (2020). *Todo lo que necesitas saber sobre topografía con drones*.
<https://enterprise-insights.dji.com/es/blog/todo-lo-que-necesitas-saber-sobre-topografia-con-drones>
- Lerma, M. J. S. (2012). Introducción histórica a la Geodesia. *Pensamiento Matemático*, 2, 4–63.
- Mamani Morales, J. H., & Platero Lerma, A. K. (2021). *Precisión en el cálculo de volúmenes utilizando vehículos aéreos no tripulados de ala fija y de ala rotatoria en contrastación con estación total, en el distrito de Calapuja provincia de Lampa*.
- Quesada, M. E., & Marsik, M. (2012). Uso de modelos de elevación digital como alternativa para mostrar errores en mapas topográficos. *Revista Geográfica de América Central*, 1(48), 77–93.
- Quirós, E. M. (2014). *Introducción a la Fotogrametría y Cartografía aplicadas a la Ingeniería Civil*. Universidad de Extremadura, Servicio de Publicaciones.
- Rodriguez, M. E. (2022). *Comparación entre los software pix4d y agisoft metashape de los productos fotogramétricos de la estación del metropolitano plaza de flores e intersección de sus vías Barranco-Lima, 2021*.
- Sal, B., Valeriano, D., & Silvestre, L. (2017). *Shuttle Radar Topography Mission*.
<https://es.slideshare.net/slideshow/srtmshuttle-radar-topography-mission-77520014/77520014>
- Satge, F., Denezine, M., Pillco, R., Timouk, F., Pinel, S., Molina, J., Garnier, J., Seyler, F., & Bonnet, M.-P. (2016). Absolute and relative height-pixel accuracy of SRTM-GL1 over the South American Andean Plateau. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 121, 157–166.
- SGM. (2016). *Taller básico sobre el uso de herramientas de sistemas de información Geográfica en Geología Médica*.
[https://www.sgm.gob.mx/pdfs/Taller Basico Sobre el Uso de Herramientas de SIG.pdf](https://www.sgm.gob.mx/pdfs/Taller_Basico_Sobre_el_Uso_de_Herramientas_de_SIG.pdf)



SIG. (2011). *Glosario - Función Pública*.

Vidal Páez, P. J., Perez Martinez, W., & Fernández-Sarría, A. (2019). Evaluación de Modelos Digitales de Elevación (MDEs) obtenidos a partir de imágenes Sentinel-1 en la Región Metropolitana de Chile. *Teledetección. Hacia Una Visión Global Del Cambio Climático: Libro de Actas*, 373–376.

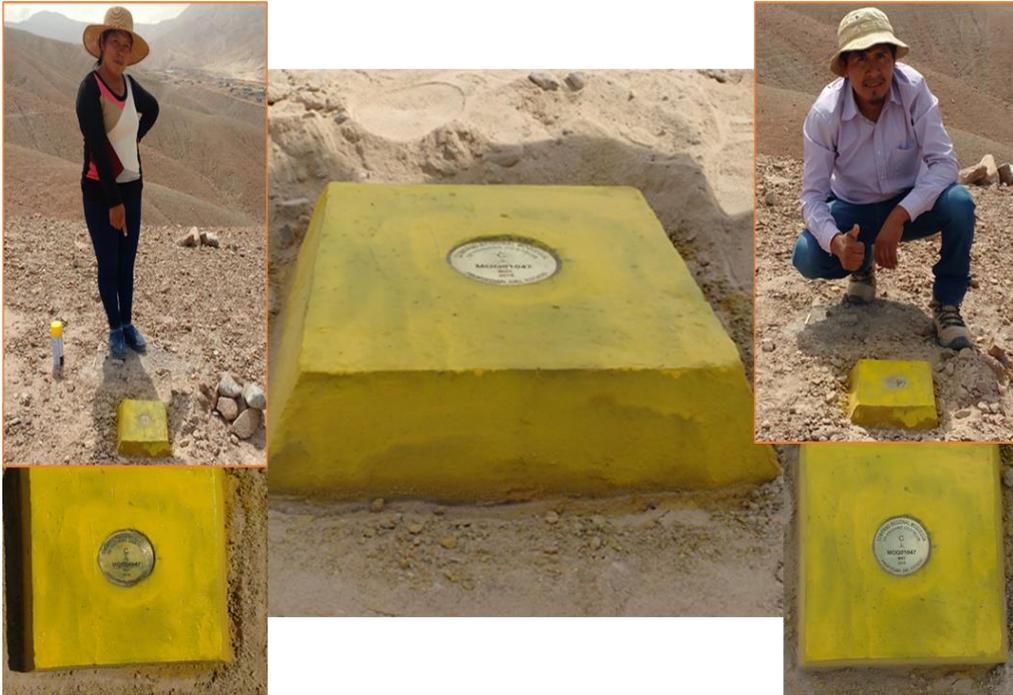
Vidal, R. A. (2022). *Evaluación de modelos digitales de elevación (DEMS) mediante geomorfología tectónica: ejemplo de la Cuenca Moyobamba*.

Wiki. (2018). *Cómo extraer las curvas de nivel de un MDT con QGIS - MappingGIS*. <https://mappinggis.com/2022/05/como-extraer-las-curvas-de-nivel-de-un-mdt-con-qgis/>

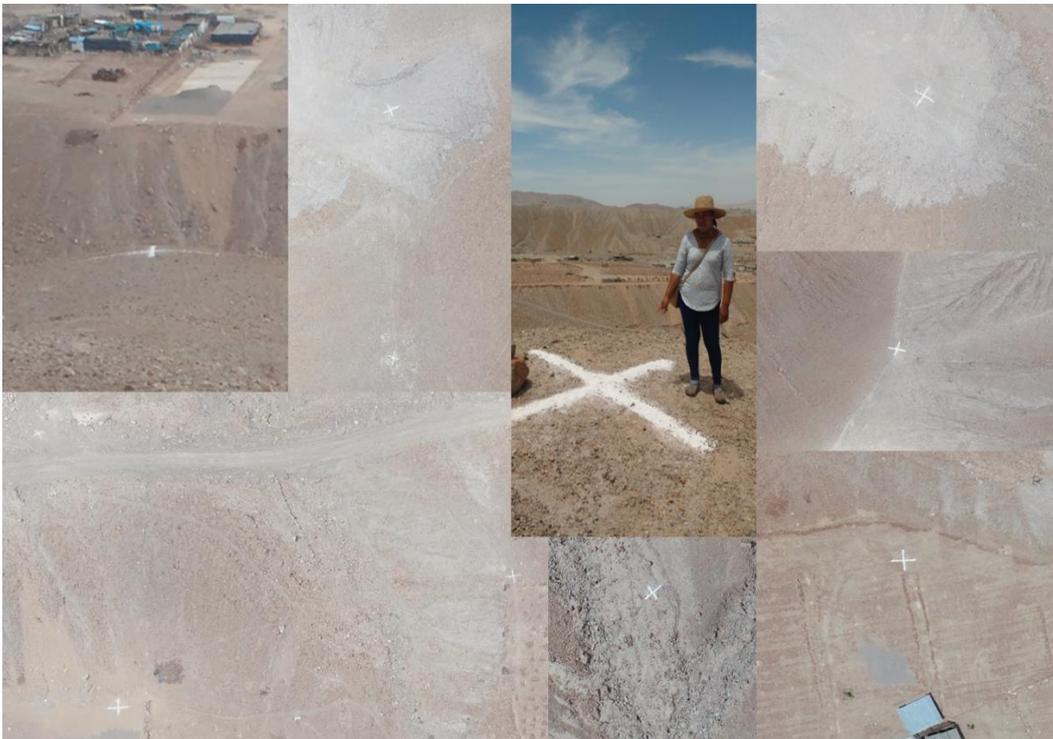
Zúñiga González, J. L. (2016). *Generación de modelos tridimensionales a partir de fotogrametría y su aplicación en geología estructural*.

ANEXOS

ANEXO 1. Monumentación de Puntos Control Geodésico (PCG) de orden "C".



ANEXO 2. Establecimiento y Ubicación de los Puntos De Control Terrestre.



ANEXO 3. Especificación Técnica del Equipo GNSS.

RECEPTOR GPS TRIMBLE R6

ESPECIFICACIONES DE FUNCIONAMIENTO

Mediciones

- Tecnología Trimble R-Track
- Chip GNSS Avanzado Trimble Maxwell II 5 para levantamientos Personalizados con 72 canales
- Correlator múltiple de alta precisión para mediciones de pseudorange GNSS
- Datos de medición de pseudorange sin filtrar ni afinar para obtener una correlación de dominios de baja duración, baja cantidad de errores multitrayecto y bajo nivel de ruido, con una alta respuesta dinámica
- Mediciones de fase de portadora GNSS con muy bajo nivel de ruido y una precisión de $\pm 1\text{ mm}$ en un ancho de banda de 1 Hz
- Relaciones de señal a ruido informadas en dB-Hz
- Probada tecnología de rastreo de baja elevación Trimble
- Señales de satélite rastreadas en simultáneo:
 - GPS: L1C/A, L2E, L2E (método Trimble para rastrear L2P)
 - GLONASS: L1C/A, L1P, L2C/A (sólo GLONASS M), L2P
 - SBAS: L1C/A

Posicionamiento GPS diferencial de código¹

Horizontal	0,25 m \pm 1 ppm RMS
Vertical	0,50 m \pm 1 ppm RMS
Precisión de posicionamiento diferencial WAAS ²	por lo general, menos de 5m 3DRMS

Levantamientos GNSS Static y FastStatic¹

Horizontal	3 mm \pm 0,1 ppm RMS
Vertical	3,5 mm \pm 0,4 ppm RMS

Levantamientos dinámicos¹

Horizontal	10 mm \pm 1 ppm RMS
Vertical	20 mm \pm 1 ppm RMS
Tiempo de inicialización ³	por lo general, menos de 25 segundos
Fiabilidad de la inicialización ⁴	por lo general, más de un 99,9%

HARDWARE

Características físicas

Dimensiones (Ancho x Alto)	19 cm x 10,9 cm (7,5 pulg x 4,3 pulg), incluidos los conectores
Peso	1,34 kg (2,95 lb) con batería interna, radio interna, antena UHF estándar. Móvil RTK completo de menos de 3,70 kg (8,16 lb) incluidas baterías, jalón, controlador y soporte

Temperatura⁵

Funcionamiento	-40 °C a +65 °C (-40 °F a +149 °F)
Almacenamiento	-40 °C a +75 °C (-40 °F a +167 °F)
Humedad	100%, con condensación
Impermeabilidad al agua y polvo	Protección contra ingreso de polvo según norma IP67, con protección contra inmersión temporal a una profundidad de 1 m (3,28 pies)

© 2016-2017 Trimble Navigation Limited. Reservados todos los derechos. Trimble, el logo de Trimble y el símbolo y "RTK" son marcas comerciales de Trimble Navigation Limited registradas en los Estados Unidos y otros países. "Protección contra ingreso de polvo" y "Protección contra inmersión temporal" son marcas comerciales de Trimble Navigation Limited registradas en los Estados Unidos y otros países. "Bluetooth" y el logo de Bluetooth son marcas comerciales de Bluetooth SIG, Inc. y se usan aquí con el consentimiento de Trimble Navigation Limited. Todas las demás marcas son propiedad de sus respectivos titulares. SP-02-018-2016-11/15

Golpes y vibraciones	Las pruebas confirman que cumple los siguientes estándares ambientales:
Golpes	Apagado: Diseñado para resistir una caída desde un jalón de 2 m (6,6 pies) sobre superficies duras. Encendido: De diente de sierra hasta 40 G, 10 msseg
Vibraciones	ML-STD-810F, FIG.5.14.5C-1

Aspectos eléctricos

- Alimentación de 11 V CC a 28 V CC de entrada de potencia externa con protección contra sobretensión en Puerto 1 (Lemo de 7 pines)
- Batería de ión-litio recargable y removible de 7,4 V y 2,4 Ah en el compartimento interno para batería. El consumo de energía es 3,2 W, en modo móvil RTK con radio interna. Duración de funcionamiento con batería interna:
 - Opción de sólo recepción de 450 MHz 5,8 horas⁶
 - Opción de recepción/transmisión de 450 MHz 3,7 horas⁶
 - GSM/GPRS 4,1 horas⁶
- Certificación Clase B Parte 15, 22, 24 Certificación FCC, 850/1900 MHz. Módulo GSM/GPRS Clase 10. Aprobación de Marca CE y aprobación de C-tick

Comunicaciones y almacenamiento de datos

- Serial de 3 cables (Lemo de 7 pines) en Puerto 1. Serial RS232 completo en el Puerto 2 (Dsub de 9 pines)
- Opción de receptor/transmisor de 450 MHz completamente integrado y sellado:
 - Potencia de transmisión: 0,5 W
 - Alcance⁶: 3-5 km por lo general / 10 km óptimo
- Opción de GSM/GPRS interno completamente integrado y sellado⁷
- Puerto de comunicaciones de 2,4 GHz completamente integrado y sellado (Bluetooth[®])⁸
- Soporte de teléfono móvil externo para módems GSM/GPRS/CDPD para operaciones de RTK y VRS
- Almacenamiento de datos en memoria interna de 11 MB: 302 horas de observables brutos, basado en grabación cada 15 segundos desde un promedio de 6 satélites
- Posicionamiento de 1 Hz, 2 Hz, 5 Hz y 10 Hz
- Entrada y salida CMR+, CMR-, RTCM 2.1, RTCM 2.3, RTCM 3.0, RTCM 3.1
- 16 salidas NMEA, salidas GSOE, RT17 y RT27. Soporta BINEX y portadora suavizada

1 La precisión y fiabilidad pueden estar asociadas al modo de multitrayecto, cobertura, cobertura de área y otros factores ambientales. Siempre consulte los manuales de instrucciones respectivas.

2 Depende de los requisitos de antenna WAAS/EGNOS.

3 Puede ser un tiempo extendido por los modos de multitrayecto de área, cobertura y otros factores ambientales.

4 Puede ser un tiempo extendido por los modos de multitrayecto de área y geometría de satélites.

5 La fiabilidad de la inicialización puede estar asociada a otros factores ambientales.

6 Almacenamiento de batería operando a -40 °C y variando normal de modo a -20 °C.

7 Válido según el terreno y las condiciones de operación.

8 Válido según el receptor.

9 Válido según el receptor y la velocidad de transmisión de datos inalámbricos.

10 Las aprobaciones de tipo Bluetooth son específicas según el país.

Consulte con el Servicio de Distribución de Trimble local para obtener más información.

Las especificaciones están sujetas a cambios sin previo aviso.



ANEXO 4. Especificación técnica del Equipo RPAS.

Especificaciones

<ul style="list-style-type: none"> • Aeroneve <ul style="list-style-type: none"> Peso (batería incluida) Velocidad de ascenso máx. Velocidad de descenso máx. Velocidad máx. Altitud de vuelo máx. por encima del nivel del mar 	<p>1300 g 6 m/s (modo Sport) 4 m/s (modo Normal) 20 m/s (modo Sport) 6000 m (19685 pies) (límite de altitud del software: 120 m [400 pies] por encima del punto de despegue) Aprox. 28 minutos de 0° a 40 °C (de 32° a 104 °F) GPS/GLONASS</p>	
<ul style="list-style-type: none"> • Gimbal <ul style="list-style-type: none"> Rango controlable • Sistema de detección de obstáculos <ul style="list-style-type: none"> Rango de detección de obstáculos Entorno de funcionamiento • Sistema de posicionamiento visual <ul style="list-style-type: none"> Rango de velocidad Rango de altitud Rango de funcionamiento Entorno de funcionamiento 	<p>Inclinación: de -90° a +30°</p> <p>de 0,7 a 15 m (de 2 a 49 pies) Superficie con patrón claro e iluminación adecuada (lux > 15)</p> <p>≤ 10 m/s (2 m sobre el nivel del suelo) de 0 a 10 m (de 0 a 33 pies) de 0 a 10 m (de 0 a 33 pies) Superficies con un patrón claro e iluminación adecuada (lux > 15)</p>	
<ul style="list-style-type: none"> • Cámara <ul style="list-style-type: none"> Sensor Objetivo Intervalo de ISO Velocidad de obturador electrónico Tamaño de imagen máx. Modos de fotografía fija 	<p>1/2.3" Píxeles efectivos: 12 M FOV (campo de visión) 94° 20 mm (equivalente a formato de 35 mm) enfoque (2.8 a ∞) de 100 a 3200 (vídeo); de 100 a 1600 (fotografía) de 8 s a 1/8000 s 4000x3000 Disparo único Disparo en ráfagas: 3 / 5 / 7 fotografías Horquilla de exposición automática (AEB): 3 / 5 fotografías horquilladas con sesgo de 0.7 EV Lapso de tiempo, HDR UHD: 4096x2160 (4K) 24 / 25p 3840x2160 (4K) 24 / 25 / 30p 2704x1520 (2.7K) 24 / 25 / 30p FHD: 1920x1080 24 / 25 / 30 / 48 / 50 / 60 / 120p HD: 1280x720 24 / 25 / 30 / 48 / 50 / 60p 60 Mbps FAT32 (≤ 32 GB); exFAT (> 32 GB) JPEG, DNG (RAW) MP4 / MOV (MPEG-4 AVC / H.264) Micro SD; capacidad máx.: 64GB Se necesita clasificación clase 10 o UHS-1 de 0° a 40 °C (de 32° a 104 °F)</p>	
<ul style="list-style-type: none"> • Modos de grabación de vídeo 		
<ul style="list-style-type: none"> • Tasas de bits máx. vídeo • Sistemas de archivos compatibles • Fotografía • Vídeo • Tarjetas SD admitidas • Temperatura de funcionamiento 		
<ul style="list-style-type: none"> • Control remoto <ul style="list-style-type: none"> Frecuencia de funcionamiento Distancia transmisión máx.: Temperatura de funcionamiento Batería Potencia de transmisión (ERP) Tensión de funcionamiento • Cargador <ul style="list-style-type: none"> Voltaje Potencia nominal • Batería de vuelo inteligente (PH4 - 5350 mAh - 15.2 V) <ul style="list-style-type: none"> Capacidad Voltaje Tipo de batería Energía Peso neto Temperatura de funcionamiento Potencia de carga máx. 	<p>de 2,400 GHz a 2,483 GHz conforme con FCC: 5 km (3,1 mi); conforme con CE: 3,5 km (2,2 mi) (sin obstáculos, libre de interferencias) de 0° a 40 °C (de 32° a 104 °F) 6000mAh LiPo 2S FCC: 23 dBm; CE: 17 dBm 7,4 V a 1,2 A</p> <p>17,4 V 100 W</p> <p>5350 mAh 15,2 V LiPo 4S 81,3 Wh 462 g de -10° a 40 °C (de 14° a 104 °F) 100 W</p>	

Descargue el manual de usuario para obtener más información:
<http://www.dji.com/product/phantom-4>



⚠ Esta guía de inicio rápido puede modificarse sin necesidad de notificarlo con antelación.

CE 1313

This device complies with part 15 of the FCC Rules. Operation is subject to the following two conditions:
(1) This device may not cause harmful interference, and
(2) this device must accept any interference received, including interference that may cause undesired operation.

© 2016 DJI Todos los Derechos Reservados.
Designed by DJI Printed in China.



ANEXO 5. Parámetro de Prosamiento Fotogramétricos con el Software Agisoff.

Parámetros de procesamiento

Generales

Cámaras	1258
Cámaras orientadas	1256
Marcadores	47
Sistema de coordenadas	WGS 84 / UTM zone 19S (EPSG::32719)
Ángulo de rotación	Guiñada, cabeceo, alabeo

Nube de puntos

Puntos	339,089 de 396,724
RMS error de reproyección	0.19137 (3.08762 pix)
Error de reproyección máximo	1.75632 (70.0168 pix)
Tamaño promedio de puntos característicos	15.6966 pix
Colores de puntos	3 bandas, uint8
Puntos clave	No
Multiplicidad media de puntos de paso	6.68865

Parámetros de orientación

Precisión	Baja
Pre-selección genérica	No
Pre-selección de referencia	No
Puntos clave por foto	40,000
Puntos de paso por foto	4,000
Filtrar puntos por máscaras	No
Ajuste adaptativo del modelo de cámara	Sí
Tiempo búsqueda de emparejamientos	5 horas 57 minutos
Tiempo de orientación	19 minutos 26 segundos

Parámetros de optimización

Parámetros	f, b1, b2, cx, cy, k1-k3, p1, p2
Ajuste adaptativo del modelo de cámara	No
Tiempo de optimización	59 segundos
Tamaño de archivo	49.55 MB

Mapas de profundidad

Número	1256
--------	------

Parámetros de obtención de mapas de profundidad

Calidad	Baja
Nivel de filtrado	Leve
Límite máximo de redundancia	16
Tiempo de procesamiento	11 minutos 49 segundos
Uso de memoria	927.18 MB
Fecha de creación	2023:03:27 12:20:00
Versión del programa	1.8.5.14752
Tamaño de archivo	667.18 MB

Nube de puntos densa

Puntos	14,097,232
Colores de puntos	3 bandas, uint8

Parámetros de obtención de mapas de profundidad

Calidad	Baja
Nivel de filtrado	Leve
Límite máximo de redundancia	16
Tiempo de procesamiento	11 minutos 49 segundos
Uso de memoria	927.18 MB

Parámetros de generación de la nube densa



Tiempo de procesamiento	26 minutos 2 segundos
Uso de memoria	3.76 GB
Fecha de creación	2023:03:27 12:46:03
Versión del programa	1.8.5.14752
Tamaño de archivo	203.16 MB
Modelo	
Caras	288,175
Vértices	146,978
Colores de vértices	3 bandas, uint8
Parámetros de obtención de mapas de profundidad	
Calidad	Baja
Nivel de filtrado	Leve
Límite máximo de redundancia	16
Tiempo de procesamiento	11 minutos 49 segundos
Uso de memoria	927.18 MB
Parámetros de reconstrucción	
Tipo de superficie	Bajorrelieve / terreno
Origen de datos	Nube de puntos densa
Interpolación	Habilitada
Máscaras volumétricas estrictas	No
Tiempo de procesamiento	17 segundos
Uso de memoria	326.01 MB
Fecha de creación	2023:03:27 13:06:11
Versión del programa	1.8.5.14752
Tamaño de archivo	6.64 MB
Modelo de teselas	
Textura	3 bandas, uint8
Parámetros de obtención de mapas de profundidad	
Calidad	Baja
Nivel de filtrado	Leve
Límite máximo de redundancia	16
Tiempo de procesamiento	11 minutos 49 segundos
Uso de memoria	927.18 MB
Parámetros de reconstrucción	
Origen de datos	Nube de puntos densa
Tamaño de tesela	256
Número de caras	Baja
Habilitar el filtro de efecto fantasma	No
Tiempo de procesamiento	1 hora 56 minutos
Uso de memoria	3.02 GB
Fecha de creación	2023:03:27 17:43:56
Versión del programa	1.8.5.14752
Tamaño de archivo	473.86 MB
MDE	
Tamaño	5,984 x 2,970
Sistema de coordenadas	WGS 84 / UTM zone 19S (EPSG::32719)
Parámetros de reconstrucción	
Origen de datos	Nube de puntos densa
Interpolación	Habilitada
Tiempo de procesamiento	29 segundos
Uso de memoria	285.25 MB
Fecha de creación	2023:03:27 18:32:29
Versión del programa	1.8.5.14752
Tamaño de archivo	45.08 MB
Ortomosaico	
Tamaño	47,871 x 23,759



Sistema de coordenadas	WGS 84 / UTM zone 19S (EPSG::32719)
Colores	3 bandas, uint8
Parámetros de reconstrucción	
Modo de mezcla	Mosaico
Superficie	MDE
Permitir el cierre de agujeros	Sí
Habilitar el filtro de efecto fantasma	No
Tiempo de procesamiento	36 minutos 5 segundos
Uso de memoria	2.54 GB
Fecha de creación	2023:03:27 19:02:36
Versión del programa	1.8.5.14752
Tamaño de archivo	23.58 GB
Sistema	
Nombre del programa	Agisoft Metashape Professional
Versión del programa	1.8.5 build 14752
OS	Windows 64 bit
RAM	31.94 GB
CPU	Intel(R) Core(TM) i7-4790K CPU @ 4.00GHz
GPU(s)	NVIDIA GeForce RTX 2080 TI

ANEXO 6. Certificado operativo GNSS TRIMBLE R6



CERTIFICADO DE OPERATIVIDAD

Mantenimiento general	Reparación	Operatividad OK	Garantía 1 año OK	NUEVO OK
-----------------------	------------	-----------------	-------------------	----------

DATOS DEL EQUIPO

Nombre : GPS DIFERENCIAL	Especificaciones de Precisión (RMS) 1 2 3		
Marca : TRIMBLE	En tiempo Real	- Vertical: 5mm + 0.5 ppm RMS	
Modelo : R6	cinemática (RTK)	- Horizontal: 25mm + 0.5 ppm RMS	
Colector Serie : 6210300305	Estática de Post-procesamiento	- Vertical: 5mm + 0.5 ppm RMS	
Modelo No: HCB600		- Horizontal: 25mm + 0.5 ppm RMS	
Receptor BASE Serie :	- Tiempo de observación: va de 4a 30 minutos en función de la distancia entre los receptores y otros factores ambientales		
Receptor ROVER Serie : 3637791			

CERTIFICADO DE OPERATIVIDAD

Nro. : 008-00103
Fecha : 21/07/2022

METODOLOGIA APLICADA Y TRAZABILIDAD DE LOS PATRONES

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

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

OPERATIVIDAD Y MANTENIMIENTO

Fecha	Mantenimiento	Operatividad	Próxima Operatividad	Observación
01/01/2022		X	1 AÑO	% 100 OPERATIVO

Responsable de Verificación	Propietario	RUC
COSOLA GROUP S.A.C.	FLORES INGENIEROS MOQUEGUA S.A.C.	20609936534
	 FLORES INGENIEROS MOQUEGUA S.A.C. RUC 20609936534 Alex Bony Flores Flores Gerente	

GARMIN

MAGELLAN

SPECTRA

SOUTH

Leica
Geosystems



ANEXO 7. Constancia de calibración drone PHANTOM 4



CONSTANCIA DE CALIBRACIÓN

Por medio del presente, se deja constancia que el drone PHANTOM 4 con número de serie, 0V2CFAP0A30239 luego del mantenimiento general, ha sido calibrado siguiendo los métodos establecidos, las calibraciones de estos equipos están sujetos a los parámetros dispuestos, por la división aeronáutica civil y por el fabricante DJI TECHNOLOGY.

MÉTODO DE CALIBRACIÓN:

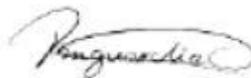
- Digital
- Manual

SE INSPECCIONÓ LA CALIBRACIÓN DE LOS SIGUIENTES COMPONENTES DEL EQUIPO:

- ✓ Calibración del sistema gimbal.
- ✓ Calibración de sensores.
- ✓ Calibración de barómetro.

Ases del drone, documenta que el equipo que pertenece a empresa FLORES INGENIEROS MOQUEGUA S.A.C. ha sido testeado y cumple con las especificaciones por el fabricante. El procedimiento utilizado para el test tiene una trazabilidad respectiva para un afinamiento electrónico y cumple con los estándares emitidos por la DGAC y la ley N° 30740.

Lima, 03 de enero del 2022


Roselin Meliso Guzmán Calderín
Gerente General
ASES DEL DRONE S.A.C.


Nitbel Peres Tello
Oficial Técnico Titular
ASES DEL DRONE S.A.C.

Válido por 12 meses.



ANEXO 8. Registro Fotográfico del Área de Estudio, fotografías aéreas del drone y procesamiento de fotos con el Agisoft Metashape.

– Área de estudio





– Fotografías aéreas del drone PHANTOM 4

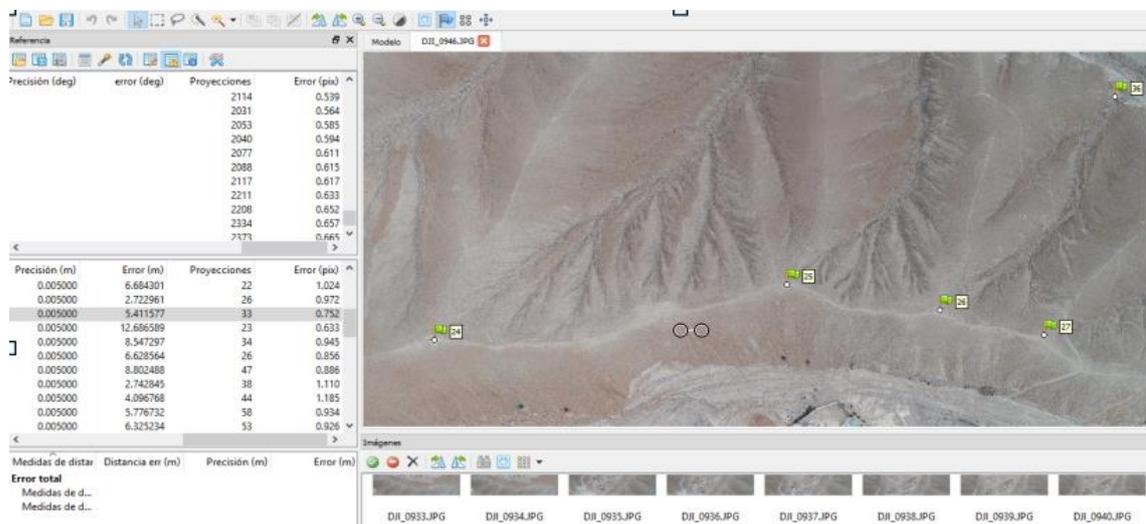








- Procesamiento de fotos con el Agisoft Metashape par generación de nube de puntos.



recisión (deg)	error (deg)	Proyecciones	Error (pis)
		2891	0.627
		3665	0.513
		2821	0.637
		3623	0.512
		2796	0.645
		3687	0.545
		2783	0.671
		3847	0.544
		2670	0.655
		3881	0.589
		7644	0.637

Altitud (m)	Precisión (m)	Error (m)	Proyeccion
1678.019000	0.005000		
1688.739000	0.005000		
1708.886000	0.005000		
1735.862000	0.005000		
1735.846000	0.005000		
1767.101000	0.005000		
1791.990000	0.005000		
1843.301000	0.005000		
1801.011000	0.005000		
1857.154000	0.005000		
1851.297000	0.005000		

Procesando...

Detectando puntos...

93% terminado, 00:30:41 transcurrido, 00:02:05 restante

Progreso total:

Minimizar Pausar Cancelar

Precisión (m)	Error (m)	Proyecciones	Error (pis)
0.005000	6.727667	22	1.024
0.005000	2.724478	26	0.972
0.005000	5.420767	33	0.752
0.005000	12.710789	23	0.633
0.005000	8.549183	34	0.945
0.005000	6.677782	26	0.856
0.005000	8.822153	47	0.886
0.005000	2.766847	38	1.110
0.005000	4.126723	44	1.185
0.005000	5.784553	71	0.939
0.005000	6.329924	67	0.866

Archivo Edición Ver Flujo de trabajo Modelo Imagen Orto Herramientas Ayuda

Referencia

Cámaras

	Este (m)	Norte (m)	Altitud (m)
DJI_0001.JPG	297437.799823	809792.763197	18
DJI_0001.JPG	297944.793316	809794.5381301	18
DJI_0002.JPG	297437.689013	809779.2611448	18
DJI_0002.JPG	297943.548057	809793.8660002	18
DJI_0003.JPG	297441.928207	809779.3984464	18
DJI_0003.JPG	297943.470860	809791.7499477	18
DJI_0004.JPG	297454.329016	809779.559248	18
DJI_0004.JPG	297942.870560	809789.1921517	18

Modelo

Perspective 10°

339,083 puntos

Imágenes

DJI_0001.JPG DJI_0001.JPG DJI_0002.JPG DJI_0002.JPG DJI_0003.JPG DJI_0003.JPG DJI_0004.JPG DJI_0004.JPG DJI_0005.JPG DJI_0005.JPG DJI_0006.JPG DJI_0006.JPG

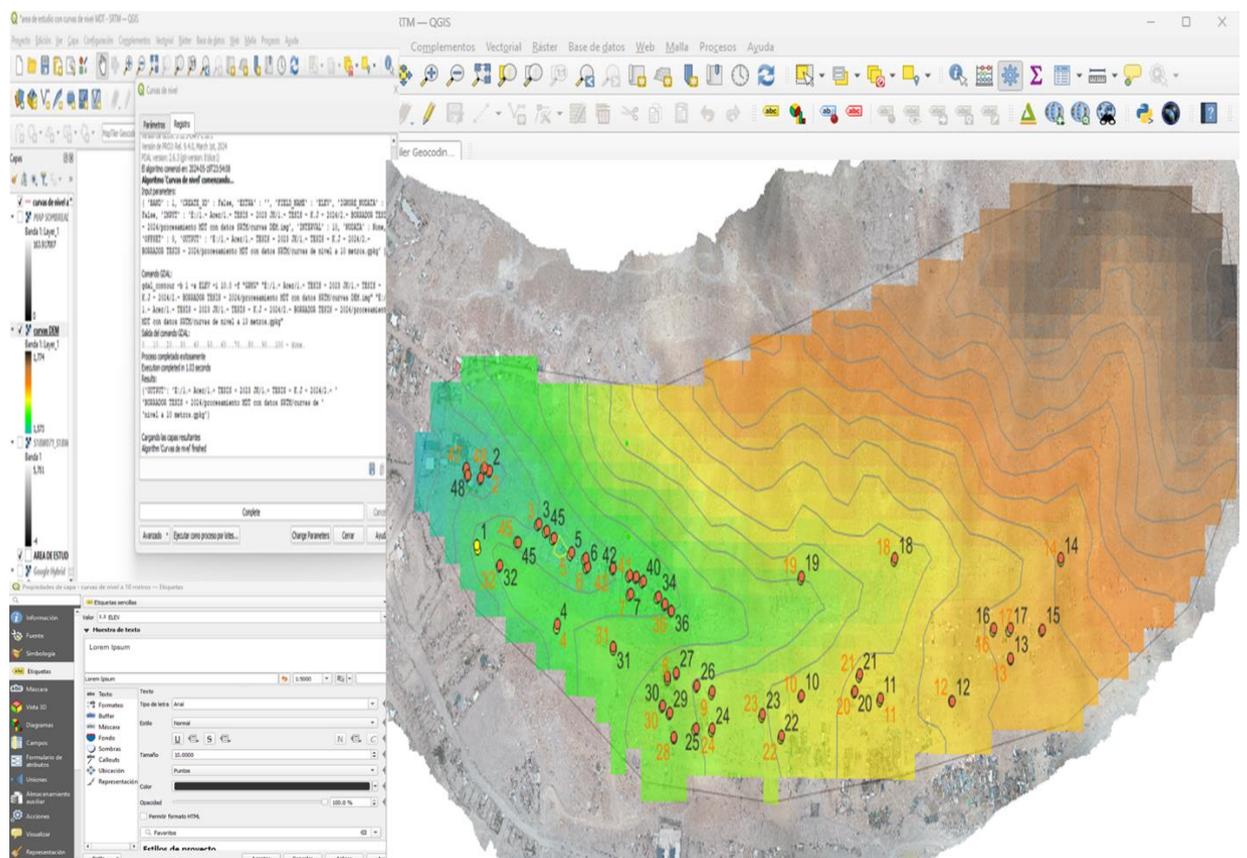
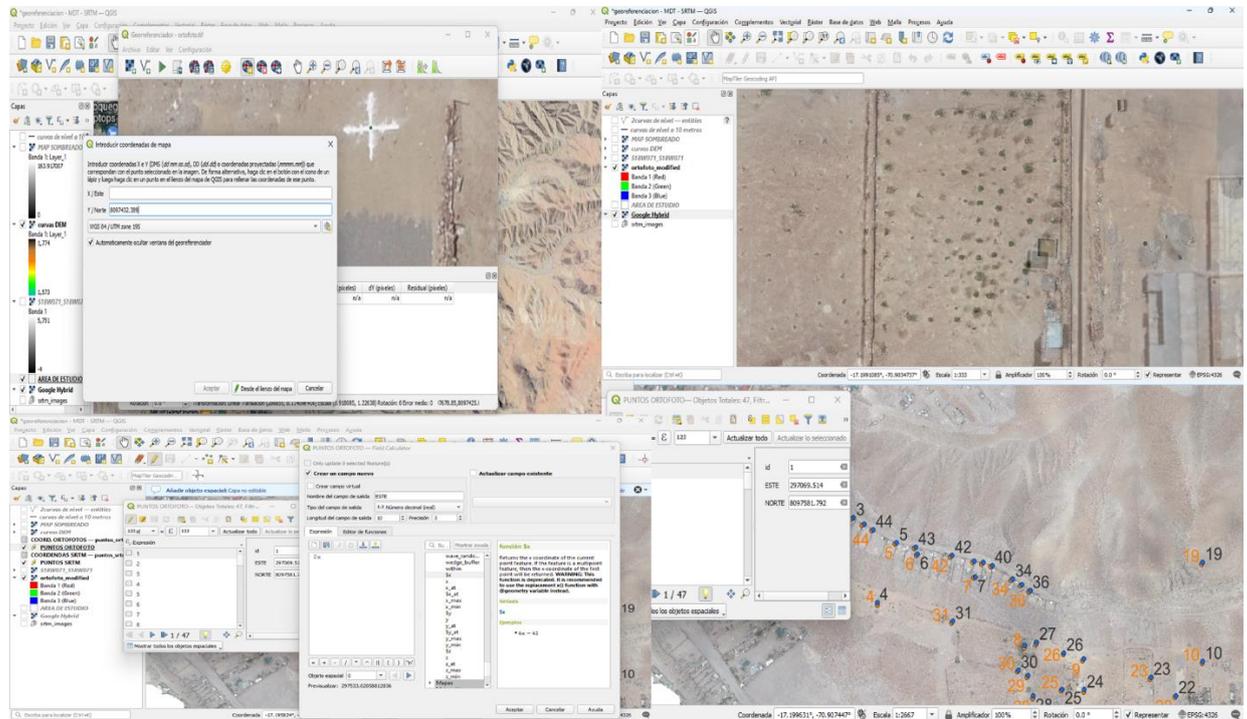
Consola

Tarea

Referencia	Este (m)	Norte (m)	Altitud (m)
24	298320.646000	809772.955000	1729.54301
25	298358.459000	809784.9431000	1754.41701
26	298415.683000	809796.4161000	1805.71201
27	298388.028000	809764.9368000	1763.45401
28	298538.768000	809788.977000	1819.56201
30	298258.837000	809798.258000	1813.71401
31	298184.764000	809787.002000	1795.93201
32	298121.503000	809792.9137000	1787.38301
33	297962.476000	809787.2171000	1774.36801
34	297829.214000	809776.4328000	1709.26001
35	297804.131000	809773.1665000	1700.33501
36	297779.313000	809770.630000	1715.87901
38	297799.608000	809786.3120000	1756.40901
39	297616.830000	809768.1108000	1709.63001
40	297681.871000	809796.7000000	1721.96501
41	297593.276000	809779.458000	1729.60101
42	297451.359000	809771.6562000	1699.59501
43	297360.463000	809770.402000	1683.29101
44	297315.272000	809770.577000	1676.54001

Espacio de trabajo

ANEXO 9. Determinación de los 47 PCT., Para la respectiva evaluación de la precisión Horizontal (X, Y) y Vertical (Z) con el programa QGIS.



ANEXO 10. Extracto de la e Guía Para la Evaluación De La Exactitud Posicional De Datos Espaciales.

Método de comparación	Con fuentes de mayor exactitud.
Componente posicional	Horizontal y vertical, separadamente.
Clase de elementos	Puntos bien definidos.
Estándar de exactitud	<p>El estándar propone exactitudes en relación con las escalas del mapa.</p> <p>Exactitud horizontal:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 1/30 de pulgada para mapas en escalas de publicación mayores que E20k (HTol₁). • 1/50 de pulgada para mapas en escalas de publicación de E20k o más pequeñas (HTol₂). <p>Exactitud vertical:</p> <ul style="list-style-type: none"> • La mitad del intervalo entre curvas de nivel para todas las escalas de publicaciones (VTol). <p>Al verificar las elevaciones, el error vertical aparente puede disminuirse suponiendo un desplazamiento horizontal dentro del error horizontal permisible para un mapa de esa escala.</p> <p>Informe: Los productos que cumplan con estos requisitos de deberán anotar este hecho en sus leyendas de la siguiente manera: «este mapa cumple con el NMA5»</p>
Descripción	<p>El producto (p) se compara con una referencia de mayor exactitud. Los componentes horizontales y verticales se pueden evaluar por separado. La evaluación vertical está sujeta a la evaluación horizontal.</p> <p>Se utiliza una muestra de n puntos de control bien definidos (sin especificar el valor de n).</p> <p>Exactitud horizontal: no más del 10 por ciento de los puntos probados tendrán un error superior a Tol₁ o Tol₂ (según la escala).</p> <p>Exactitud vertical: no más del 10 por ciento de los puntos probados tendrán un error superior a VTol.</p>
Procedimiento	<ol style="list-style-type: none"> 1. Seleccionar una muestra. 2. Calcular el error de cada punto en cada componente: $e_{x_i} = X_{p_i} - X_i \quad e_{y_i} = y_{p_i} - y_i \quad e_{z_i} = z_{p_i} - z_i$ siendo: X_i, y_i, z_i las coordenadas en el CDR. $X_{p_i}, y_{p_i}, z_{p_i}$ las coordenadas en el CDE. 3. Calcular la componente horizontal de los errores en x_i y en cada punto: $e_{H_i} = \sqrt{e_{x_i}^2 + e_{y_i}^2}$ 4. Establecer cuáles son los errores máximos tolerables: Horizontal: 0,085 cm (1/30") en mapas de escala mayor de E20K o de 0,05 cm (1/50") en mapas a escala menor o igual a E20K. Vertical: La mitad de la equidistancia entre curvas de nivel. 5. Contar cuántos puntos tienen un error horizontal e_{H_i} superior a la tolerancia que aplica al caso de la escala. El control es superado en la componente horizontal si el número de puntos que tienen un error superior a la tolerancia no supera el 10 % de los casos.

Método comparación	Con fuentes de mayor exactitud
Componente posicional	Cada componente, X, Y, Z, separadamente.
Clase de elementos	Puntos bien definidos. Bien distribuidos: separación entre puntos en el rango $[1/12, 1/4]$ de la dimensión diagonal de la cobertura del mapa. Al menos el 15% de los puntos en cada cuadrante.
Estándar de exactitud	El estándar propone exactitudes en relación con las escalas del mapa (ver Tabla 1 de ASCE 1983). Informe: Los productos que cumplan con estos requisitos de exactitud deberán tener en cuenta este hecho en sus leyendas de la siguiente manera: «Este mapa cumple con el EMAS para una escala _____ con límites de error que no excede de _____ metros. Tipo de error X Y Z σ_0 --- --- --- $ \delta_0 $ --- --- --- ^p
Descripción	El producto (p) se compara con una referencia de mayor exactitud. Las componentes X, Y, Z se pueden evaluar por separado. Se utiliza una muestra de al menos 20 puntos de control bien definidos y bien distribuidos. Se utiliza un error absoluto medio límite ($ \delta_0 $) en una prueba T-Student para el sesgo. Se considera un valor de desviación típica límite (σ_0) como hipótesis nula de la prueba Chi-cuadrado relativa a la dispersión.
Procedimiento	<ol style="list-style-type: none"> 1. Seleccionar una muestra de n puntos, siendo $n \geq 20$. 2. Calcular el error de cada punto en cada componente: $e_{x_i} = x_{p_i} - x_i \quad e_{y_i} = y_{p_i} - y_i \quad e_{z_i} = z_{p_i} - z_i$ siendo: x_i, y_i, z_i las coordenadas en el CDR. $x_{p_i}, y_{p_i}, z_{p_i}$ las coordenadas en el CDE. 3. Calcular el error medio de cada componente: $\bar{e}_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n e_{x_i} \quad \bar{e}_y = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n e_{y_i} \quad \bar{e}_z = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n e_{z_i}$ 4. Calcular la desviación típica muestral en cada componente: $S_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (e_{x_i} - \bar{e}_x)^2} \quad S_y = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (e_{y_i} - \bar{e}_y)^2} \quad S_z = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (e_{z_i} - \bar{e}_z)^2}$ 5. Efectuar, para cada componente, el test de cumplimiento del estándar para determinar si el error medio es aceptable (que implica ausencia de sesgo). Para ello se realizará un test sobre la media, bajo el supuesto de varianzas poblacionales desconocidas, estableciendo las siguientes hipótesis: $H_0: \mu_p = 0 \quad H_1: \mu_p \neq 0$ El mapa superará el test con un nivel de significación α si se cumple que: $t_x \leq t_{n-1, \alpha/2} \quad t_y \leq t_{n-1, \alpha/2} \quad t_z \leq t_{n-1, \alpha/2}$ donde: $t_{n-1, \alpha/2}$ Valor de la distribución t de Student, con $n-1$ grados de libertad. t_x, t_y, t_z Resultado de calcular los siguientes estadísticos: $t_x = \frac{\bar{e}_x \sqrt{n}}{S_x} \quad t_y = \frac{\bar{e}_y \sqrt{n}}{S_y} \quad t_z = \frac{\bar{e}_z \sqrt{n}}{S_z}$ 6. Efectuar, para cada componente, el test de cumplimiento del estándar para determinar si la desviación típica muestral se encuentra entre los límites aceptables. Para ello se realizará un test sobre la varianza, estableciendo las siguientes hipótesis, en relación con un máximo valor de varianza $\sigma_0^2, \sigma_0^2, \sigma_0^2$ preestablecido y concretado sobre cada componente: $H_0: \sigma_p \leq \sigma_0^2 \quad H_1: \sigma_p^2 > \sigma_0^2$ El producto superará el control con un nivel de significación α si se cumple que: $\chi_x^2 \leq \chi_{n-1, \alpha}^2 \quad \chi_y^2 \leq \chi_{n-1, \alpha}^2 \quad \chi_z^2 \leq \chi_{n-1, \alpha}^2$ siendo: $\chi_{n-1, \alpha}^2$ Valor teórico de la distribución Chi cuadrado, con $n-1$ grados de libertad. $\chi_x^2, \chi_y^2, \chi_z^2$ Resultado de calcular los siguientes estadísticos:

Método de comparación	Con fuentes de mayor exactitud				
Componente posicional	Horizontal y vertical, separadamente				
Clase de elementos	Puntos bien definidos.				
Estándar de exactitud	No hay tolerancias, valores limitantes o restricciones similares. Se proporciona un resultado y el usuario debe considerar si es adecuado o no para su propósito. Informe: Se informa de la exactitud estimada al 95 % de confianza tanto para el caso horizontal como vertical. En el producto se debe incluir la leyenda: « Probado ___ metros de exactitud horizontal con un nivel de confianza del 95 % Probado ___ metros de exactitud vertical con un nivel de confianza del 95 % »				
Descripción	El producto (p) se compara con una referencia de mayor exactitud. Las componentes horizontales y verticales se evalúan por separado. Se utiliza una muestra de al menos 20 puntos de control bien definidos y distribuidos. El NSSDA usa el ECM para estimar la exactitud posicional. La exactitud se informa en distancias terrestres al nivel de confianza del 95 %. Se supone que los errores sistemáticos se han eliminado lo mejor posible. Se supone que los errores se distribuyen normalmente y son independientes en cada componente de error. Se limita la falta de homocedasticidad.				
Procedimiento	<ol style="list-style-type: none"> 1. Seleccionar una muestra de n puntos, siendo $n \geq 20$. 2. Calcular el error de cada punto en cada componente: $e_{x_i} = X_{p_i} - X_i \quad e_{y_i} = Y_{p_i} - Y_i \quad e_{z_i} = Z_{p_i} - Z_i$ siendo: X_i, Y_i, Z_i las coordenadas en el CDR. $X_{p_i}, Y_{p_i}, Z_{p_i}$ las coordenadas en el CDE. 3. Calcular el error medio cuadrático de cada componente: $ECM_X = \sqrt{\frac{\sum e_{x_i}^2}{n}} \quad ECM_Y = \sqrt{\frac{\sum e_{y_i}^2}{n}} \quad ECM_Z = \sqrt{\frac{\sum e_{z_i}^2}{n}}$ 4. Obtener el valor NSSDA_H horizontal: <table style="border: none; margin-left: 20px;"> <tr> <td style="border: none;">si $ECM_X = ECM_Y$</td> <td style="border-left: 1px solid black; padding-left: 10px; border-bottom: 1px solid black;"> $NSSDA_H = 2,4477 \cdot 2^{1/2} \cdot ECM_i = 2,4477 \cdot ECM_X$ donde: $ECM_i = (ECM_X^2 + ECM_Y^2)^{1/2}$ </td> </tr> <tr> <td style="border: none;">si $ECM_X \neq ECM_Y$</td> <td style="border-left: 1px solid black; padding-left: 10px; border-bottom: 1px solid black;"> $NSSDA_H = 2,4477 \cdot 0,5 \cdot (ECM_X + ECM_Y)$ </td> </tr> </table> y $0,6 < (ECM_{min} / ECM_{max}) < 1,0$ 5. Obtener el valor NSSDA_Z vertical según la siguiente expresión: $NSSDA_Z = 1,9600 \cdot ECM_Z$ 	si $ECM_X = ECM_Y$	$NSSDA_H = 2,4477 \cdot 2^{1/2} \cdot ECM_i = 2,4477 \cdot ECM_X$ donde: $ECM_i = (ECM_X^2 + ECM_Y^2)^{1/2}$	si $ECM_X \neq ECM_Y$	$NSSDA_H = 2,4477 \cdot 0,5 \cdot (ECM_X + ECM_Y)$
si $ECM_X = ECM_Y$	$NSSDA_H = 2,4477 \cdot 2^{1/2} \cdot ECM_i = 2,4477 \cdot ECM_X$ donde: $ECM_i = (ECM_X^2 + ECM_Y^2)^{1/2}$				
si $ECM_X \neq ECM_Y$	$NSSDA_H = 2,4477 \cdot 0,5 \cdot (ECM_X + ECM_Y)$				
Fuente	FGDC (1998). FGDC-STD-007: Geospatial Positioning Accuracy Standards, Part 3. National Standard for Spatial Data Accuracy. Federal Geographic Data Committee, Reston, USA.				



ID	Nombre	Elemento	Medida básica
28	Valor medio de las incertidumbres posicionales (1D, 2D, 3D)	Absoluta o externa	No aplicable
28	Sesgo de las posiciones (1D, 2D y 3D)	Absoluta o externa	No aplicable
29	Valor medio de las incertidumbres posicionales excluyendo atípicos (2D)	Absoluta o externa	No aplicable
30	Número de incertidumbres posicionales mayores que un umbral	Absoluta o externa	Recuento de errores
31	Índice de incertidumbres posicionales mayores que un umbral	Absoluta o externa	No aplicable
32	Matriz de covarianzas	Absoluta o externa	No aplicable
33	Error lineal probable	Absoluta o externa	LEP50.0 o LE50.0(r)
34	Error lineal típico	Absoluta o externa	LE68.3 o LE68.3(r)
35	Exactitud lineal al 90 % de nivel de significación	Absoluta o externa	LE90 o LE90(r)
36	Exactitud lineal al 95 % de nivel de significación	Absoluta o externa	LE95 o LE95(r)
37	Exactitud lineal al 99 % de nivel de significación	Absoluta o externa	LE99 o LE99(r)
38	Error lineal casi cierto	Absoluta o externa	LE99.8 o LE99.8(r)
39	error cuadrático medio	Absoluta o externa	No aplicable
40	Error lineal absoluto al 90 % de nivel de significación de datos verticales con sesgo (alternativa 1)	Absoluta o externa	No aplicable
41	Error lineal absoluto al 90 % de nivel de significación de datos verticales con sesgo (alternativa 2)	Absoluta o externa	No aplicable
42	Desviación típica circular	Absoluta o externa	CE39.4
43	Error circular probable	Absoluta o externa	CE50
44	Error circular al 90 % de significación	Absoluta o externa	CE90
45	Error circular al 95 % de significación	Absoluta o externa	CE95
46	Error circular casi cierto	Absoluta o externa	CE99.8
47	Error cuadrático medio planimétrico	Absoluta o externa	No aplicable
48	Error circular absoluto al 90 % de nivel de significación de datos con sesgo	Absoluta o externa	No aplicable
49	Error circular absoluto al 90 % de nivel de significación de datos con sesgo	Absoluta o externa	No aplicable
50	Elipse de incertidumbre	Absoluta o externa	No aplicable
51	Elipse de confianza	Absoluta o externa	No aplicable
52	Error vertical relativo	Relativa o interna	No aplicable
53	Error horizontal relativo	Relativa o interna	No aplicable

ANEXO 11. Planos de ubicación y MDTs del área de estudio.



DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Jhon Deyvis Calsin Ccalla
identificado con DNI 44164587 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:

"EVALUACIÓN DEL GRADO DE PRECISIÓN DE LOS MODELOS DIGITALES DEL TERRENO OBTENIDOS MEDIANTE DATOS GROUND CONTROL POINTS Y SRDI DE LA MICROFRECUENCIA QUEBRADA CAMPOSANTO - TIOQUEGUA"

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 04 de JUNIO del 2024

FIRMA (obligatoria)



Huella



DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Kory Machaca Quispe,
identificado con DNI 46 953691 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:

"EVALUACIÓN DEL GRADO DE PRECISIÓN DE LOS MODELOS DIGITALES DEL
TERRENO OBTENIDOS MEDIANTE DATOS GNSS-RTK, RPAS y SRTM, DE LA
MICROCUEVA QUEBRADA CAMPOSANTO - HOCQUEGUA"

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 04 de junio del 20 24


FIRMA (obligatoria)



Huella



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

Por el presente documento, Yo JHON DEYVIS CALSIN CCALLA identificado con DNI 44164587 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:

"EVALUACIÓN DEL GRADO DE PRECISIÓN DE LOS MODELOS DIGITALES DE TERRENO OBTENIDOS MEDIANTE DATOS GNSS-RTK, RPAS Y SRTM, DELA MICROCUENCA GUERRADA CARROSANTO - TIOQUEGUA"

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 04 de JUNIO del 2024

FIRMA (obligatoria)



Huella



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

Por el presente documento, Yo Katy Machaca Quispe identificado con DNI 46 95 36 91 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:

"EVALUACIÓN DEL GRADO DE PRECISIÓN DE LOS MODELOS DIGITALES DEL TERRENO OBTENIDOS MEDIANTE DATOS GNSS-RTK, RPAS Y SRTH, DE LA MICROCUENCA QUEBRADA CAMPOSANTO - MOQUEGUA"

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 04 de Junio del 2024


FIRMA (obligatoria)



Huella