

Generación de modelos digitales de terreno con equipos topográficos avanzados y convencionales: un enfoque comparativo

Generation of digital terrain models with advanced and conventional surveying equipment: a comparative approach

Angel Luis Tingal Coronado^{1*}  Luis Fernando Romero Chuquilin¹ 

¹ Universidad Nacional Autónoma de Chota (UNACH), Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Ciudad Universitaria Colpamatara, 06120, Chota, Cajamarca, Perú.

*Autor de correspondencia: [email: lfromeroch@unach.edu.pe]

RESUMEN

Los modelos digitales del terreno (MDT) desempeñan un papel crucial en diversas aplicaciones de ingeniería civil, ayudando en la planificación urbana, el desarrollo de infraestructura y la gestión ambiental. Así, esta revisión tiene como objetivo presentar un análisis comparativo sobre la generación de MDT utilizando equipos topográficos avanzados y convencionales. La investigación evalúa la precisión y eficiencia de estos métodos para proporcionar información a ingenieros civiles y topógrafos. Además, examina los avances recientes en las tecnologías topográficas y su impacto en la generación de MDT. Los resultados muestran las fortalezas y limitaciones de ambos enfoques, compartiendo mayor información para la elección óptima según los diferentes requisitos del proyecto.

Palabras clave: LiDAR, drones, estaciones totales y receptores GPS.

ABSTRACT

Digital terrain models (DTMs) play a crucial role in various civil engineering applications, assisting in urban planning, infrastructure development and environmental management. This paper presents a comparative analysis on DTM generation using advanced and conventional surveying equipment. The research evaluates the accuracy and efficiency of these methods in providing information to civil engineers and surveyors. Through a comprehensive literature review, this study examines recent advances in surveying technologies and their impact on DTM generation. The results show the strengths and limitations of both approaches, sharing more information for the optimal choice for different project requirements.

Keywords: LiDAR, drones, total stations and GPS receivers.

INTRODUCCIÓN

Los modelos digitales del terreno (MDT) son herramientas esenciales en ingeniería civil y ofrecen representaciones detalladas de la superficie de la Tierra

(Kamel et al., 2020). Estos modelos proporcionan información minuciosa sobre la topografía de un área determinada y se usan en diferentes aplicaciones, como la planificación urbana,

la gestión de recursos naturales y la navegación satelital (McLaren & Kennie, 2020).

Los últimos años han sido testigos de una rápida progresión en las tecnologías topográficas, lo que ha llevado a capacidades mejoradas de recopilación de datos y mayor precisión en la generación de MDT (Deliry & Aydan, 2021). Los sistemas LiDAR (Light Detection and Ranging), conocidos por su alta precisión y rápida adquisición de datos han revolucionado la cartografía topográfica y la modelización del terreno (Muhadi et al., 2020). Los drones (Sistema aéreo no tripulados) equipados con sensores fotogramétricos también han ganado popularidad por su versatilidad y rentabilidad a la hora de capturar información detallada de la superficie (Choi et al., 2023). El GPS RTK (Real-Time Kinematic), técnica avanzada de posicionamiento por satélite, permite obtener mediciones de alta precisión y en tiempo real dependiendo de las condiciones y la configuración de uso (Alkan et al., 2020).

Los equipos topográficos convencionales, incluidas estaciones totales y receptores GPS (Global Positioning System), siguen prevaleciendo en muchos proyectos debido a su confiabilidad y familiaridad. Estas herramientas han sido la piedra angular de las prácticas topográficas durante décadas, proporcionando datos de elevación precisos para el modelado del terreno (Zakari et al., 2021). Sin embargo, los avances tecnológicos han planteado dudas sobre la eficiencia y precisión de los métodos convencionales en comparación con sus homólogos modernos (Haidar & Ibrahim, 2021).

Se entiende que, el proceso de generación de MDT ha evolucionado significativamente con la llegada de equipos topográficos avanzados, como LiDAR y drones, junto con métodos tradicionales como estaciones totales y receptores GPS (Mishra et al., 2024); por lo que, comprender las ventajas y limitaciones comparativas de estas tecnologías es crucial para optimizar las prácticas topográficas en proyectos de ingeniería civil (Haidar & Ibrahim, 2021).

Así, esta revisión busca identificar las fortalezas y limitaciones de cada enfoque, ofreciendo información valiosa para que los ingenieros civiles y topógrafos seleccionen el método más adecuado para sus proyectos. En ese contexto, el objetivo en este estudio fue presentar un análisis comparativo sobre la generación de MDT utilizando equipos topográficos avanzados y convencionales.

MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología del estudio implicó una extensa revisión de la literatura publicada en los últimos cinco años (2019-2024). Se realizó una búsqueda sistemática en bases de datos académicas acreditadas, como Google Scholar, SciELO, y repositorio nacional digital de ciencia tecnología e innovación (Alicia); centrándose en artículos científicos informes técnicos de investigaciones relacionados con la generación de MDT con equipos topográficos avanzados y convencionales. Los estudios seleccionados fueron analizados rigurosamente para extraer información relevante sobre las diferentes tecnologías topográficas en la generación de MDT, considerando los criterios de

inclusión y exclusión presentados en la Tabla 1.

Tabla 1. Criterios de inclusión y exclusión para extraer información para comparar los equipos topográficos avanzados y convencionales para la generación de MDT.

Incl usió n	Estudios publicados en los últimos 5 años (2019-2024)
	Título o contenido referido a la generación de modelos digitales de terreno con equipos topográficos avanzados y convencionales (MDT)
	Artículos en idioma inglés para garantizar la relevancia e innovación tecnológica en topografía
Excl usió n	Investigaciones con títulos Equipamiento topográfico, pero que no desarrolla Modelo digitales de terreno.
	Publicaciones anteriores a 2019

Los parámetros clave considerados en el análisis comparativo incluyeron la velocidad de adquisición de datos, la densidad de la nube de puntos, la precisión vertical, la resolución horizontal y el costo general de los métodos topográficos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las investigaciones seleccionadas se clasificaron de acuerdo al equipo usado: avanzado o convencional, estableciendo las características correspondientes a cada tipo de equipo en la generación de MDT. En la Tabla 2 se presenta detalle de los equipos topográficos usados en 26 artículos científicos.

Tabla 2. Número de investigaciones según equipo topográfico usados en la generación de MDT

Equipos topográficos	Número	Citas
Avanzados		
LiDAR	6	(Muhadi et al., 2020; Castañeda & Martínez, 2018; Paco, 2019; González, 2021; Buleje, 2022; Raj et al., 2020)
Drones	7	(Choi et al., 2023; Buleje, 2022; Soto, 2023; Solis et al., 2022; Guevara, 2021; Zhang et al., 2022; Pepe et al., 2022)
GPS RTK	7	(Alkan et al., 2020; Soto, 2023; Solis et al., 2022; Guevara, 2021; Ozulu et al., 2023; Stott et al., 2020; Ricaldi, 2023)
Tradicionales		
GPS diferencial	5	(Zakari et al., 2021; Haidar & Ibrahim, 2021; Urteaga, 2021; Yamasqui, 2022; Zamora-Maciel et al., 2020)
Estación total	7	(Castañeda & Martinez, 2018; Soto, 2023; Solis et al., 2022; Guevara, 2021; Yamasqui, 2022; Quillahuaman, 2022; Serrano et al., 2021)

Equipos topográficos	Número	Citas
Teodolito	4	(Serrano et al., 2021; Romero et al., 2022; Garcia, 2021; Coelho, 2022)
Nivel de ingeniero	2	(Garcia, 2021; Coelho, 2022)
GPS estándar	2	(Buleje, 2022; Coelho Júnior, 2022)

Los equipos topográficos avanzados, como el LiDAR montado en vehículos terrestres y los drones con sensores LiDAR, ofrecen una mayor precisión y detalle en el MDT en comparación con los equipos convencionales como estaciones totales y nivelación. Estos equipos avanzados también presentan ventajas en términos de accesibilidad a áreas difíciles y rapidez en la adquisición de datos. Sin embargo, tienen costos operativos más altos y requieren de personal especializado para su operación y procesamiento de datos (Muhadi et al., 2020; Choi et al., 2023; Alkan et al., 2020).

Por otro lado, los equipos topográficos convencionales son más accesibles en términos de costos y requerimientos de personal, pero tienen limitaciones en cuanto a precisión y detalle en MDT,

especialmente en áreas de difícil acceso o en condiciones climáticas adversas (Zakari et al., 2021; Haidar & Ibrahim, 2021).

En la Tabla 3 se detalla el cotejo de tres equipos topográficos avanzados: LiDAR, drones y GPS RTK. Se destacan sus propiedades y características. También se mencionan los costos aproximados y se proporcionan referencias para obtener más información.

Entre tanto, en la Tabla 4 se compara equipos topográficos convencionales, como el GPS diferencial, la estación total, el teodolito, el nivel de ingeniero y el GPS de mano. Se describen sus propiedades y características, como la precisión en las mediciones y la facilidad de uso. Al igual que en la Tabla 3, también se detalla información relevante para su comparación.

Tabla 3. Propiedades, características, costo y referencias de equipos topográficos avanzados

Equipo	Propiedades y características	Costo uso del equipo en ejecución MDT (USD)	Citas
LiDAR	Alta precisión en mediciones de distancia y elevación. Excelente para áreas extensas y detección de objetos.	Variable según especificaciones y alcance, desde \$ 1,750	(Muhadi et al., 2020; Castañeda & Martinez, 2018; Paco, 2019; González, 2021; Buleje, 2022; Raj et al., 2020)
Drones	Versatilidad en acceso a áreas de difícil acceso. Captura de datos aéreos de alta resolución. Tiempo de vuelo limitado.	3,000-20,000 (dependiendo del modelo y características)	S/. (Choi et al., 2023; Buleje, 2022; Soto, 2023; Solis et al., 2022; Guevara, 2021; Zhang et al., 2022; Pepe et al., 2022)

GPS RTK	Proporciona mediciones de alta precisión y en tiempo real. Requiere una estación base y una móvil para operar.	5,000-15,000 (costo de equipo completo)	S/.	(Alkan et al., 2020; Soto, 2023; Solis et al., 2022; Guevara, 2021; Ozulu et al., 2023; Stott et al., 2020; Ricaldi, 2023)
---------	--	---	-----	--

Tabla 4. Propiedades, características, costo y referencias de equipos topográficos convencionales

Equipo	Propiedades y características	Costo uso equipo en ejecución MDT (S/.)	Citas
GPS diferencial	Proporciona mediciones precisas de posición diferencial utilizando señales GPS. Requiere una estación base y una móvil.	8,000-20,000S/. (costo de equipo básico)	(Urteaga, 2021; Yamasqui, 2022; Zamora et al., 2020)
Estación total	Mediciones angulares y de distancia de alta precisión. Requiere de personal capacitado para su operación.	1,400-10,000 S/. (costo de equipo básico)	(Castañeda & Martínez, 2018; Soto, 2023; Solis et al., 2022, Guevara, 2021, Yamasqui, 2022; Quillahuaman, 2022; Serrano et al., 2021)
Teodolito	Instrumento óptico para mediciones de ángulos horizontales y verticales. Precisión moderada.	2,000-6,000 S/. (costo de equipo básico)	(Serrano et al., 2021; Romero et al., 2022; Garcia, 2021, Coelho, 2022)
Nivel de ingeniero	Utilizado para mediciones de desniveles y pendientes en trabajos de nivelación. Fácil de operar, pero menos preciso que otros equipos.	500 – 1,500 S/. (costo de equipo básico)	(Garcia, 2021, Coelho, 2022)
GPS de mano	Pequeño dispositivo GPS portátil utilizado para obtener coordenadas de puntos en terreno. Precisión limitada.	100-500 S/. (costo por dispositivo)	(Soto, 2023; Coelho, 2022)

En la Tabla 5 se compara la facilidad de uso en términos de la complejidad de la operación y la eficiencia de los diferentes equipos topográficos en función de la cantidad de puntos que se pueden medir por hora.

Tabla 5. Facilidad de uso y eficiencia de los equipos topográficos utilizados para generar MDT

Equipo	Facilidad de uso	Eficiencia	Citas
LiDAR	Media	Alta 50 millones pts/hr	(Paco, 2019)

Drones	Media	Alta 12.5 millones pts/hr	(Buleje, 2022; Serrano et al., 2021)
GPS RTK	Baja	Alta 135 pts/hr	(Ozulu et al., 2023 ; Serrano et al., 2021)
GPS diferencial	Media	Alta 135 pts/hr	(Zamara-Maciel et al., 2020; Serrano et al., 2021)
Estación total	Baja	Alta 90 pts/hr	(Quillahuaman, 2022; Serrano et al., 2021)
Teodolito	Alta	Media 67.5 pts/hr	(Serrano et al., 2021)
Nivel de ingeniero	Alta	Media	(Garcia, 2021)
GPS de mano	Alta	Baja	(Buleje, 2022; Coelho, 2022)

En la Tabla 6 se presenta el rango de operación de cada equipo topográfico. Se describe la distancia máxima que cada

equipo puede cubrir, lo que es importante considerar al seleccionar el equipo adecuado para un proyecto específico.

Tabla 6. Rango de operación de los equipos topográficos utilizados para generar MDT

Equipo	Rango de operación	Citas
LiDAR	Cientos de metros; permite cubrir grandes áreas.	(Paco, 2019)
Drones	Decenas de kilómetros; amplio rango de cobertura.	(Buleje, 2022)
GPS RTK	Decenas de kilómetros; adecuado para trabajos de campo extensos.	(Ozulu et al., 2023 ; Stott et al., 2020)
GPS diferencial	Está en el rango de varios kilómetros, pero puede ser más corto en áreas con obstrucciones o interferencias.	(Zamora-Maciel et al., 2020)
Estación total	Pueden medir distancias de hasta varios cientos de metros o incluso kilómetros, dependiendo de la precisión requerida y las condiciones del entorno.	(Quillahuaman , 2022)
Teodolito	Decenas de metros; rango limitado para mediciones angulares.	(Serrano et al., 2021)
GPS de mano	Decenas de metros; rango restringido para navegación y mapeo básico.	(Coelho, 2022)

La precisión y la exactitud son dos aspectos fundamentales en la evaluación de la calidad de los datos obtenidos por los equipos topográficos. La precisión altimétrica se refiere a la capacidad del equipo para proporcionar mediciones

consistentes y repetibles de la elevación del terreno. En contraste, la exactitud se evalúa en función de la capacidad del equipo para capturar detalles finos y representar fielmente las características del terreno (Tabla 7).

Tabla 7. Precisión y exactitud de los equipos topográficos utilizados para generar MDT.

Equipo	Precisión altimétrica (mm)	Precisión	Exactitud	Citas
LiDAR	15-30	Centimétrica a milimétrica; captura detalles finos del terreno.	Centimétrica; alta precisión en mediciones.	(Paco, 2019)
Drones	10-20	Decimétrica a centimétrica; depende de la resolución de la cámara y altura de vuelo.	Decimétrica; buena exactitud para mapeo general.	(Buleje, 2022; Guevara, 2021)
GPS RTK	5-10	Centimétrica; alta precisión en posicionamiento dinámico.	Centimétrica; alta exactitud en mediciones cinemáticas.	(Ozulu et al., 2023; Stott et al., 2020)
GPS diferencial	10-20	Centimétrica; alta precisión en posicionamiento dinámico.	Centimétrica; alta exactitud en mediciones cinemáticas.	(Zamora-Maciél et al., 2020)
Estación total	5-10	Milimétrica; precisa para mediciones de ángulos y distancias.	Milimétrica; alta exactitud en levantamientos topográficos.	(Quillahuaman, 2022; Serrano et al., 2021)
Nivel de ingeniero	2-5	Milimétrica; preciso para nivelaciones de alta precisión.	Milimétrica; alta exactitud en mediciones de elevación.	(Garcia, 2021; Coelho, 2022)

En tabla 8, se registró la velocidad de adquisición de datos (Kilómetro/hora) y el tiempo de procesamiento de cada equipo

topográfico (horas). También el personal mínimo requerido para operar cada equipo.

Tabla 8. Tiempo y velocidad de adquisición de datos topográficos para generación MDT.

Equipo	Velocidad de adquisición (km/h)	Tiempo de proceso (horas)	Persona l mínimo	Citas
LiDAR	100-200	10-40	1	(Raj et al., 2020)
Drones	20-50	4-10	2	(Guevara, 2021; Serrano et al., 2021)
GPS RTK	Variable	2-8	1	(Ozulu et al., 2023; Serrano et al., 2021)
Estación total	Variable	10-50	3	(Guevara, 2021; Serrano et al., 2021)
GPS diferencia l	Variable	2-8	3	(Zamora-Maciél et al., 2020)
Teodolito	Variable	16-50	3	(Serrano et al., 2021)

En tabla 9 se registró el personal necesario para el levantamiento topográfico convencional y el levantamiento topográfico con tecnología avanzada.

También se consideró los roles específicos del personal en cada tipo de levantamiento.

Tabla 9. Personal necesario para el levantamiento topográfico.

Levantamiento topográfico convencional	Levantamiento topográfico con tecnología avanzada
01 Ingeniero/topógrafo	01 Ingeniero
01 Conductor	01 Asistente topográfico
02 Personal de apoyo (peones)	01 Conductor

Nota: Castañeda & Martínez (2018).

En tabla 10 se registró la densidad de puntos que se puede obtener con cada

equipo topográfico, su descripción y referencia.

Tabla 10. Densidad de equipos topográficos para generación de MDT

Equipo	Densidad de puntos (puntos/m ²)	Descripción de la densidad de puntos	Citas
LiDAR	100-1000	Muy alta; captura millones de puntos por segundo, permitiendo una densa nube de puntos del terreno.	(González, 2021)

Equipo	Densidad de puntos (puntos/m ²)	Descripción de la densidad de puntos	Citas
Drones	50-500	Alta; la resolución de la cámara y altura de vuelo determinan la densidad de puntos en las imágenes aéreas.	(Zhang et al., 2022; Serrano et al., 2021)
GPS RTK	Variable	Moderada; registra puntos continuamente durante el levantamiento, pero la densidad depende de la velocidad de desplazamiento.	(Stott et al., 2020; Serrano et al., 2021)
GPS diferencial	Variable	Moderada; registra puntos continuamente durante el levantamiento, pero la densidad depende de la velocidad de desplazamiento.	(Zamora-Maciél et al., 2020)
Estación total	Variable	Moderada; permite medir puntos individuales con alta precisión, pero la densidad depende del espaciamiento entre puntos.	(Quillahuaman, 2022; Serrano et al., 2021)
Teodolito/ Nivel de ingeniero	Variable	Baja; solo permite medir puntos de nivelación a lo largo de una línea, con una densidad limitada por el espaciamiento de la mira.	(Serrano et al., 2021; Coelho, 2022)

Se compara la tecnología y las funcionalidades de cada equipo topográfico. Se evalúa si la tecnología es avanzada o convencional, y se describen sus funcionalidades clave (Tabla 11).

Tabla 11. Tecnología y funcionalidades de los equipos topográficos para generar MDT

Equipo	Tecnología	Funcionalidades	Cita
LiDAR	Avanzada	Mapeo 3D, mediciones rápidas	(Paco, 2019)
Drones	Avanzada	Fotografía aérea, mapeo aéreo, mediciones rápidas	(Buleje, 2022)
GPS RTK	Avanzada	Medición en tiempo real, alta precisión	(Ozulu et al., 2023)
Estación total	Avanzada	Medición de ángulos y distancias, almacenamiento de datos	(Quillahuaman, 2022)
GPS diferencial	Avanzada	Medición precisa, correcciones en tiempo real	(Urteaga, 2021; Yamasqui, 2022; Zamora-Maciél et al., 2020)
Teodolito	Convencional	Medición de ángulos	(Serrano et al., 2021; Romero et al., 2022)
Nivel de ingeniero	Convencional	Medición de alturas	(García, 2021; Coelho, 2022)

GPS de mano	Convencional	Localización, navegación	(Coelho, 2022)
-------------	--------------	--------------------------	----------------

En tabla 12 Se registró las aplicaciones específicas de cada equipo topográfico, con descripciones detalladas y tipos de trabajo realizado.

Tabla 12. Aplicaciones específicas de los equipos topográficos en elaboración de MDT

Equipo	Aplicaciones específicas	Citas
LiDAR	Mapeo detallado de áreas urbanas y rurales para planificación urbana, gestión de recursos naturales y proyectos de largo alcance (sistemas de agua potable y alcantarillado, carreteras y caminos, entre otros).	(Paco, 2019)
Drones	Inspección de infraestructuras, monitoreo de cultivos y bosques, y evaluación de daños por desastres naturales. También en proyectos como sistemas de agua potable y alcantarillado, carreteras y caminos, entre otros, pero con menor alcance. Debido a que se requiere gran número de vuelos de dron.	(Buleje, 2022)
GPS RTK	Posicionamiento preciso en proyectos de construcción, control de calidad en obras civiles, y levantamientos topográficos.	(Ozulu et al., 2023 ; Stott et al., 2020)
GPS diferencial	Para obtener mediciones de posición precisas en levantamientos topográficos, agricultura de precisión y control de maquinaria en proyectos de construcción y minería.	(Urteaga, 2021)
Estación total	Levantamientos topográficos detallados, replanteo de obras civiles, y control de deformaciones en estructuras.	(Quillahua man, 2022)
Teodolito	En replanteos de puntos de control, perfilado de terrenos y medición de ángulos horizontales y verticales en proyectos de ingeniería civil y construcción.	(Serrano et al., 2021)
Nivel de ingeniero	Para la nivelación topográfica, control de alturas y pendientes en obras civiles, y replanteo de ejes y estructuras en la construcción de infraestructuras.	(Garcia, 2021; Coelho, 2022)

Se analizó el impacto de cada equipo topográfico en proyectos de ingeniería en Perú, por lo que resaltan los beneficios en proyectos de infraestructura (Tabla 13).

Tabla 13. Impacto de los equipos topográficos en proyectos de ingeniería civil en Perú

Equipo	Impacto en la industria	Cita
LiDAR	Mejora la eficiencia en levantamientos topográficos y reduce costos en proyectos de infraestructura vial y urbana.	(Buleje, 2022)
Drones	Agiliza la inspección de obras, facilita el monitoreo ambiental y optimiza la planificación de proyectos de ingeniería.	(Buleje, 2022)
GPS RTK	Aumenta la precisión en la ejecución de obras civiles y agiliza los procesos de control de calidad en la construcción.	(Ricaldi, 2023)
GPS diferencial	Optimiza la precisión de los levantamientos topográficos, aumentando la eficiencia en proyectos de ingeniería civil y reduciendo los errores en la planificación y construcción de infraestructura en Perú.	(Urteaga, 2021)
Estación total	Permite mediciones precisas de ángulos en proyectos de infraestructura y construcción, garantizando la alineación adecuada.	(Quillahua man, 2022)
Teodolito	Asegura la exactitud en los replanteos de puntos de control y la medición de ángulos, lo que garantiza la calidad en la construcción de carreteras, edificaciones y obras civiles en todo el país.	(Serrano et al., 2021)
Nivel de ingeniero	Facilita la nivelación topográfica y el control de alturas en obras civiles, asegurando la precisión en la ejecución de proyectos de infraestructura.	(García, 2021; Coelho, 2022)

CONCLUSIONES

Los equipos topográficos avanzados, como el LiDAR, drones y GPS RTK, se destacan por su alta precisión y eficiencia para cubrir áreas extensas de manera efectiva. Esto los convierte en herramientas ideales para proyectos a gran escala, como la planificación urbana y la gestión de recursos naturales, a pesar de que su mayor costo puede ser una limitación.

Los equipos topográficos convencionales, como la estación total, teodolito y nivel de ingeniero, ofrecen menor precisión. Los convencionales son más robustos, fáciles de operar y económicos y son útiles para tareas de replanteo, medición de ángulos y nivelación en la ejecución de obras civiles.

Los ingenieros civiles y topógrafos deben evaluar cuidadosamente los requisitos específicos del proyecto, así como las restricciones presupuestarias y el nivel de precisión deseado al seleccionar el equipo topográfico adecuado para generar modelos digitales del terreno (MDT).

Financiamiento

Los autores no recibieron financiamiento o patrocinio para ejecutar el trabajo de revisión.

Conflicto de intereses

No existe ningún tipo de interés con los contenidos del artículo científico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alkan, RM, Erol, S., İlçi, V. y Ozulu, İ. M. (2020). Análisis comparativo de técnicas cinemáticas en tiempo real y PPP en entorno dinámico. *Medida*, 163, 107995. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.107995>
- Buleje, B.J. (2022). *Levantamiento topográfico con scanner LiDAR Móvil IP-S2 para el mejoramiento y ampliación de los sistemas de agua potable y alcantarillado km 40 Antigua Panamericana Sur*. [Tesis para optar el título de Ingeniero Civil, Universidad Ricardo Palma].
- Castañeda, L. J. & Martínez, W.A. (2018). *Análisis comparativo entre levantamientos topográficos convencionales de detalle versus tecnología LiDAR terrestre estacionaria, aplicada a deformaciones en estructuras de gran tamaño*. [Tesis de grado, Universidad Distrital Francisco José Caldas].
- Choi, H. W., Kim, H. J., Kim, S. K., & Na, W. S. (2023). An overview of drone applications in the construction industry. *Drones*, 7(8), 515. <https://doi.org/10.3390/drones7080515>
- Coelho Júnior, J. M. (2022). *Topografía básica en español*. Universidad Federal Rural de Pernambuco. ISBN 978-65-00-28675-5. https://repository.ufrpe.br/bitstream/123456789/3379/1/Livro_topografia_basica_en_espanol.pdf
- Deliry, S. I., & Avdan, U. (2021). Accuracy of unmanned aerial systems photogrammetry and structure from motion in surveying and mapping: a review. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 49(8), 1997-2017. <https://doi.org/10.1007/s12524-021-01366-x>
- García Villacorta, C. V. (2021). *Mejoramiento geométrico de la trocha carrozable entre los caseríos Sogobara–Punchaypampa, Santiago de Chuco, La Libertad*. [Tesis de grado, Universidad César Vallejo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/102217>
- González, P.A. (2021). Sistema para la generación de nubes de puntos en túneles basado en sensores LIDAR. [Tesis de grado para optar al título de Ingeniero Mecatrónico, Universidad EIA]. <https://repository.eia.edu.co/server/api/core/bitstreams/1cee6f66-5122-4e6c-9c40-149a2bb1f9dd/content>
- Guevara, M.R. (2021). *Comparación de precisión de levantamiento topográfico con la estación total y el drone en el tramo de la carretera caserío los Quispes al C.P. la Granja del distrito de Querocoto, provincia de Chota, departamento de Cajamarca*. [Tesis para optar el título de Ingeniero Civil Ambiental, Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo]. <http://hdl.handle.net/20.500.12423/4546>
- Haidar, K. A. M., & Ibrahim, A. M. (2021). Comparison Between Gross Errors Detection Methods in Surveying Measurements. *Journal of*

- Engineering and Computer Science*, 22(1), 47-55.
- Kamel, A., Miky, Y., & Shouny, A. E. (2020). FTF: a quick surveying approach for constructing high resolution digital surface model for road elements. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 11(1), 1466-1489. <https://doi.org/10.1080/19475705.2020.1800519>
- McLaren, R. A., & Kennie, T. J. (2020). Visualisation of digital terrain models: techniques and applications. *Three dimensional applications in GIS*, 79-98.
- Mishra, A., Agnihotri, AK, Pipil, S., Gaur, S. y Ohri, A. (2024). Técnicas topográficas de zonas urbanas. En *Observación de la Tierra en el monitoreo urbano* (págs. 69-91). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-99164-3.00013-6>
- Muhadi, N. A., Abdullah, A. F., Bejo, S. K., Mahadi, M. R., & Mijic, A. (2020). The use of LiDAR-derived DEM in flood applications: A review. *Remote Sensing*, 12(14), 2308. <https://doi.org/10.3390/rs12142308>
- Ozulu, İ. M., Dilmaç, H., & İlçi, V. (2023, October). The Accuracy Analysis and Usability of Low Cost RTK Portable Kit on Surveying Aims. In *The Proceedings of the International Conference on Smart City Applications* (pp. 270-276). Cham: Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-53824-7_24
- Paco, W.E. (2019). *Levantamiento topográfico con metodología LIDAR para la generación del modelo digital del terreno y superficie de la comunidad de Umapalca en el departamento de La Paz*. [Tesis de licenciatura, Universidad Mayor de San Andrés de Bolivia]. <http://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/27779>
- Pepe, M., Alfio, V. S., & Costantino, D. (2022). UAV platforms and the SfM-MVS approach in the 3D surveys and modelling: A review in the cultural heritage field. *Applied Sciences*, 12(24), 12886. <https://doi.org/10.3390/app122412886>
- Quillahuaman Conde, R. (2022). *Evaluación de la Eficiencia de Levantamiento Topográfico para Obras Civiles Mediante el Uso de RPA con Respecto a la Estación Total, Cañete 2021*. [Tesis de grado, Universidad Peruana Los Andes]. <https://hdl.handle.net/20.500.12848/4282>
- Raj, T., Hanim Hashim, F., Baseri Huddin, A., Ibrahim, MF y Hussain, A. (2020). Una encuesta sobre los mecanismos de escaneo LiDAR. *Electrónica*, 9 (5), 741. <https://doi.org/10.3390/electronics9050741>
- Ricaldi Esteban, J. B. (2023). *Implementación del Dron JI Phantom 4 RTK en el Área de Topografía de la Constructora D' Armies SAC para Mejorar la Cubicación de Materias Primas en la Producción de Cemento en Tarma-Junín, 2023*. [Trabajo de suficiencia profesional, Universidad Católica Sedes Sapientiae].

- <https://hdl.handle.net/20.500.1409/5/1986>
- Romero Rodríguez, H., Sambrano Etxabe, E., & Contreras Muñoz, J. T. (2022). Sistema de recolección de datos topográficos para la construcción de curvas de nivel utilizando sistema de posicionamiento global. *Inge Cuc*, 19(1), 117-138. <https://hdl.handle.net/11323/12345>
- Serrano, E.D., Servín, M.D., Segura, D.H. (2021). *Avances tecnológicos de los equipos utilizados para levantamientos topográficos en ingeniería portuaria y costera*. Instituto Mexicano de Transporte. <https://www.construaprende.com/pdf/avances-tecnologicos-de-los-equipos-utilizados-para-levantamientos-topograficos-en-ingenieria-portuaria-y-costera.pdf>
- Soto, J. (2023). *Precisión de la fotogrametría aérea y la estación total en la generación de un modelo de elevación digital, carretera del fundo Bocanegra - Chachapoyas – Amazonas*. [Tesis para optar el título de Ingeniero Civil, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza]. <https://hdl.handle.net/20.500.1407/7/3172>
- Solis, J. E. B., Torres, L. M. C., & Paredes, B. G. P. (2022). Análisis comparativo topográfico sobre levantamientos altimétricos con RTK GNSS, Estación Total y Drone en Manta. *Polo del Conocimiento: Revista científico-profesional*, 7(12), 586-602. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9227632>
- Stott, E., Williams, R. D., & Hoey, T. B. (2020). Ground control point distribution for accurate kilometre-scale topographic mapping using an RTK-GNSS unmanned aerial vehicle and SfM photogrammetry. *Drones*, 4(3), 55. <https://doi.org/10.3390/drones4030055>
- Urteaga Montoya, J. A. (2021). *Evaluación técnica económica del levantamiento topográfico con estación total, GPS diferencial y dron, para el análisis geométrico de la carretera Baños del Inca–Otuzco, Cajamarca 2020*. [Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte]. Repositorio de la Universidad Privada del Norte. <https://hdl.handle.net/11537/30529>
- Yamasqui Sarmiento, J. D. (2022). *Evaluación y valoración de levantamientos topográficos mediante aerofotogrametría y métodos tradicionales, utilizando estación total o GPS diferencial* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Chimborazo]. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/9089>
- Zakari, D. M., Mohammed, D., Umar, M., & Oga, M. (2021). Updating Large Scale Topographic Databases at Adamawa State Polytechnic Using Total Station. *Journal of research in environmental and earth sciences*, 7(9), 67-78.
- Zamora-Maciel, A., Romero-Andrade, R., Moraila-Valenzuela, C. R., Pivot, F., Zamora Maciel, A., Romero-Andrade, R., ... & Pivot, F. (2020). Evaluación de receptores GPS de

bajo costo de alta sensibilidad para trabajos geodésicos. Caso de estudio: Línea base geodesic. CIENC. Ergo-Sum, 27(1), e73. <https://pdfs.semanticscholar.org/e8b1/b9d5161a1abf1b035160934927e4bc1145fb.pdf>

Zhang, Y., Onda, Y., Kato, H., Feng, B., & Gomi, T. (2022). Understory biomass measurement in a dense plantation forest based on drone-SfM data by a manual low-flying drone under the canopy. *Journal of*

Environmental Management, 312, 114862.

<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114862>

Contribución de autoría

1. Angel Luis Tingal Coronado: Concepción y elaboración del manuscrito.
2. Luis Fernando Romero Chuquilin: Concepción y elaboración del manuscrito.

Recibido: 15-06-2024 Aceptado: 02-07-2024 Publicado: 31-07-2024