



Artículo

Fotogrametría aérea versus estación total: estudio comparativo en levantamientos topográficos

Juan Carlos Rodríguez Uribe ^{1*}, Mauricio Abraham Rufino Mendoza ² y Zaira Betzabeth Trejo Torres ³

¹ Tecnológico Nacional de México/Campus Instituto Tecnológico Superior de Huichapan, División de Arquitectura México

² Tecnológico Nacional de México/Campus Instituto Tecnológico Superior de Huichapan, División de Arquitectura México

³ Tecnológico Nacional de México/Campus Instituto Tecnológico Superior de Huichapan, División de Arquitectura México

* Correspondencia: jcrodriguez@iteshu.edu.mx

Resumen: La gestión del territorio exige representaciones geoespaciales precisas, existiendo un debate continuo sobre eficiencia operativa de las nuevas tecnologías frente a los métodos tradicionales. El objetivo de este estudio es evaluar cualitativamente al desempeño de la fotogrametría aérea con sistemas de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS) en comparación con a la estación total. Metodológicamente, se aplicó un enfoque cualitativo-descriptivo que contrastó las fases de campo y gabinete empelando programas como Autocad Civil 3D, agisoft metashape y Pix4Dmapper en las plataformas experimentales de Ingeniería en Innovación Agrícola Sustentable. Los resultados indican que la fotogrametría aérea optimiza el rendimiento temporal en campo y aporta alta continuidad visual mediante ortomosaicos, mientras que la estación total requiere mayor tiempo de ejecución, pero garantiza el acceso directo al suelo bajo vegetación. Se concluye que ambos métodos son tecnologías complementarias y no excluyentes, cuya selección óptima depende de las condiciones del relieve y los requerimientos logísticos del proyecto.

Keywords: UAV; geomática; cartografía

Citar este trabajo: Rodríguez-Uribe, J.C.; Rufino-Mendoza, M.A.; Trejo-Torres, Z.B. Título. Fotogrametría aérea versus estación total: estudio comparativo en levantamientos topográficos RELITEC'S 2026, 9^a, edición, Vol. 1 ISSN 2395-972X

Recibido: 06-07-2026
Aceptado: 29-07-2026
Publicado: 31-07-2026

1. Introducción

La topografía, área trascendental para la arquitectura, construcción y la administración territorial, ha evidenciado un desarrollo significativo recientemente debido a que las tecnologías de medición han mejorado, volviéndose más rápidas, precisas y seguras. Su relevancia radica en que proporciona información geoespacial esencial para el desarrollo de proyectos de infraestructura. Para maximizar la extracción de recursos, garantizar la seguridad en las operaciones y examinar las reservas minerales, esta industria necesita modelos topográficos precisos. Sin embargo, seleccionar el método topográfico más idóneo de acuerdo a las necesidades de los proyectos a desarrollar, representa en la actualidad un reto para elegir la opción más viable.

Las técnicas de levantamiento topográfico, hoy en día, han evolucionado desde métodos tradicionales como la estación total hasta tecnologías más nuevas, que incluyen el uso de drones (UAV/ Vehículo aéreo no tripulado) para realizar fotogrametría aérea. La conveniencia de cada uno de estos métodos depende de las metas del proyecto y las

condiciones del terreno, por lo que tienen beneficios y desventajas. La estación total, que es muy utilizada debido a su precisión en levantamientos específicos, enfrenta problemas con la densa vegetación y los suelos de alta pendiente. Los drones, por otro lado, han revolucionado el sector al proporcionar información pormenorizada en intervalos de tiempo mucho más breves, aunque para ello se necesiten costos de equipo y procesamiento de datos más altos.

La cartografía y la planificación territorial se basaron en el estudio y la evolución de las técnicas de levantamiento topográfico. En este contexto, la combinación de dos tecnologías importantes, la estación total y los vehículos aéreos no tripulados (UAVS), han marcado un hito en la obtención de datos geoespaciales. La necesidad de superar las limitaciones inherentes a cada método por separado es la razón detrás de este avance.

La llegada de los vehículos aéreos autónomos provocó un cambio en la forma en que se capturan datos geoespaciales.

Estos vehículos ofrecen una perspectiva aérea eficiente y detallada, superando las restricciones de acceso terrestre en áreas de difícil alcance gracias a su equipamiento con tecnologías avanzadas y cámaras de alta resolución. La convergencia de la estación total y los UAVs surgió como una respuesta estratégica a las limitaciones de cada tecnología por sí sola. Aunque la estación total se destaca por su precisión en puntos específicos, los UAV ofrecen una visión aérea completa del terreno.

La estación total inicialmente diseñada para medir ángulos y distancias desde una ubicación fija, ha sido una herramienta importante para el topógrafo. Su uso se remonta a décadas pasadas, cuando se convirtió en una práctica común proporcionar mediciones detalladas y precisas en puntos específicos del terreno. Sin embargo, a medida que se enfrentaron a desafíos en términos de velocidad y cobertura, surgió la necesidad de complementar esta técnica con métodos dinámicos.

El objetivo de este estudio es comparar estos dos procedimientos en el marco del establecimiento de la plataforma experimental del programa de Ingeniería en Innovación Agrícola Sustentable, que se encuentra en las instalaciones del Instituto Tecnológico Superior de Huichapan. Este análisis tiene como finalidad identificar el método más eficaz en lo que respecta a la eficiencia logística y temporal, la accesibilidad y el riesgo operativo y dependencia tecnológica.

2. Materiales y Métodos

La presente investigación se desarrolla bajo un enfoque cualitativo de tipo descriptivo y comparativo. El objetivo central es evaluar los atributos operativos funcionales de la estación total frente a la fotogrametría aérea mediante RPAS, sin recurrir al análisis estadístico de desviaciones numéricas, sino a la ponderación de sus capacidades logísticas, técnicas y de representación espacial, densidad de información y detalle visual,

Criterios evaluación operativa

Para estructurar la comparación cualitativa, se establecieron cuatro categorías de análisis que permiten contrastar de manera sistemática ambos métodos de levantamiento.

Eficiencia temporal y logística: evaluación del tiempo invertido en las fases de campo y gabinete, así como la complejidad de despliegue de personal y equipo.

Densidad de información y detalle visual: capacidad de cada método para representar la continuidad morfológica del terreno y proveer texturas visuales útiles para la toma de decisiones.

Accesibilidad y riesgo operativo: análisis de la viabilidad de aplicación en terrenos con pendientes pronunciadas, vegetación densa o condiciones de peligro para el operador.

Dependencia tecnológica y factores externos: evaluación de las variables climáticas (viento, iluminación) y requerimientos de software/hardware que condicionan el éxito de cada levantamiento.

Fases de proceso de investigación

El desarrollo metodológico se divide en tres fases secuenciales:

1. Fase de campo (captura diferenciada):

a. Estación total: se analiza el proceso de radiación manual de puntos discretos (ejes, quiebres topográficos, cambios de pendiente) seleccionados bajo el criterio del operador. En la Figura 1 identificamos el equipo de estación total, prisma reflector y accesorios de operación para captura de datos topográficos.

b. Se evalúa la planificación de vuelos automatizados mediante misiones programadas y la colocación estratégica de puntos de control terrestre (GCP) para el soporte geométrico del modelo. En la Figura 1 identificamos equipo de estación total, prisma reflector y accesorios de operación para captura de datos topográficos. En la Figura 2 identificamos el Dron DJI Mini 4 pro y control remoto para planificar el vuelo.

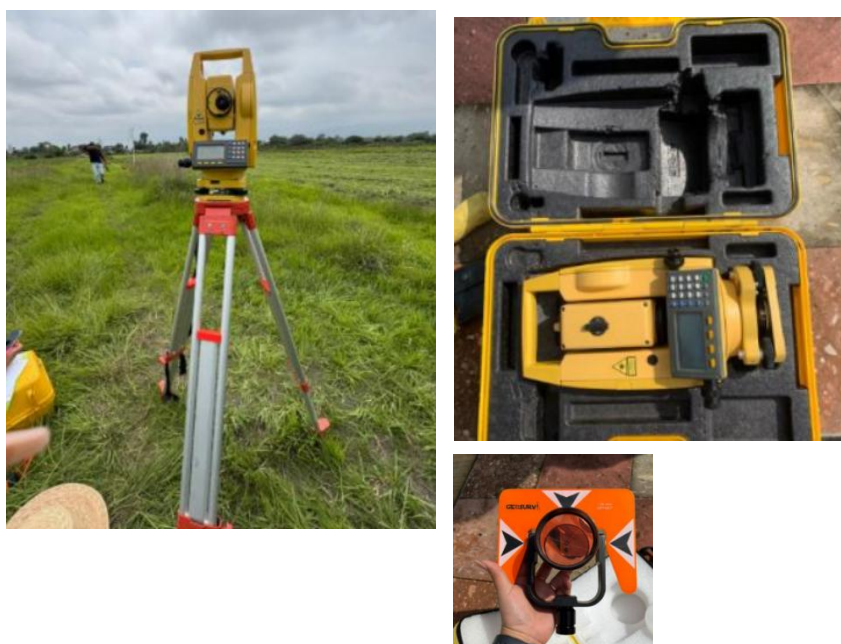


Figura 1. Equipo de estación total, prisma reflector y accesorios de operación para captura de datos topográficos (Fuente: autoría propia).

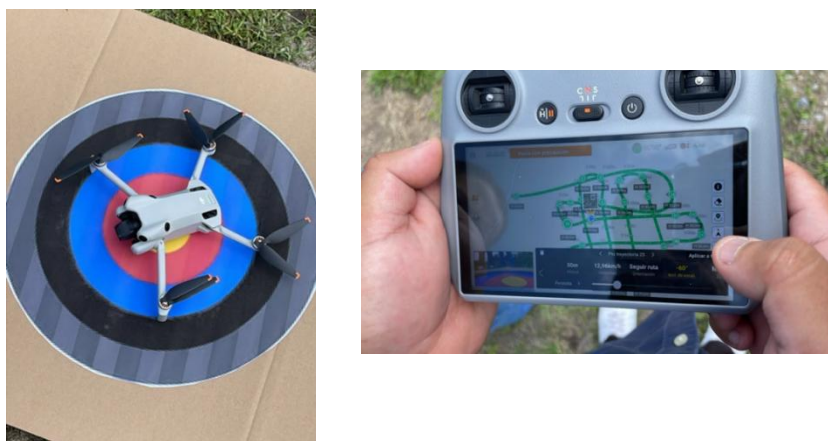


Figura 2. Identificamos el Dron DJI Mini 4 pro y control remoto para planificar el vuelo del dron (Fuente: autoría propia).

2. Fase de gabinete (procesamiento de datos):

a. Método tradicional: procesamiento de los datos de campo en el programa AutoCAD Civil 3D o CivilCad para la triangulación e interpretación manual de curvas de nivel a partir de los puntos capturados. En la Figura 3 identificamos el programa AutoCAD utilizado para el procesamiento de información que se registró con apoyo de la estación total mientras que en la Figura 4 identificamos el programa CivilCAD utilizado para el procesamiento de información que se registró con apoyo de la estación total.



Figura 3. Programa AutoCAD utilizado para el procesamiento de información que se registró con apoyo de la estación total (Fuente: autoría propia).

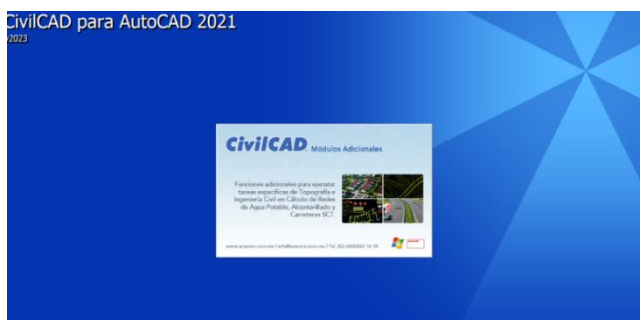


Figura 4. Programa CivilCAD utilizado para el procesamiento de información que se registró con apoyo de la estación total (Fuente: autoría propia).

b. Método fotogramétrico: procesamiento de las imágenes mediante los programas de Agisoft Metashape y Pix4Dmapper, aplicando algoritmos Structure from Motion (SfM9 para la generación automática de nubes de puntos densas, modelos digitales de terreno (MDT) y ortomosaicos. En la Figura 5 identificamos el programa Agisoft Metashape utilizado para el procesamiento de información que se registró con apoyo del dron.

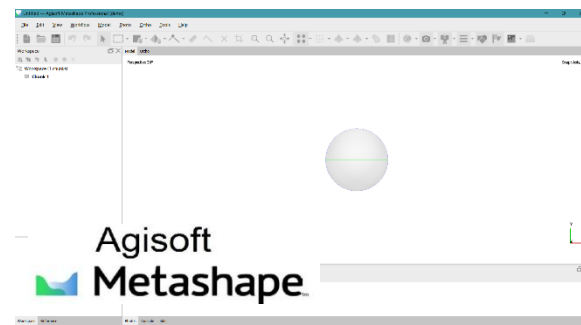


Figura 5. Programa Agisoft Metashape utilizado para el procesamiento de información que se registró con apoyo del dron (Fuente: autoría propia).

3. fase de contraste y matiz de discusión:

Síntesis de las observaciones recopiladas en una matriz de análisis cualitativo contrastando las ventajas, limitaciones y escenarios óptimos de aplicación para cada tecnología en proyectos de infraestructura civil.

Aplicación en el caso de estudio: plataforma experimental de Ingeniería en Innovación Agrícola Sustentable que se ubica en el Instituto Tecnológico Superior de Huichapan, un escenario caracterizado por parcelas de cultivo con variabilidad vegetal, límites parcelarios definidos y topografía regular.

Se realizó el levantamiento topográfico con el empleo de estación total y fotogrametría con base a Dron.

Etapas del proceso de investigación:

El desarrollo metodológico se compone de tres etapas sucesivas:

1. Etapa de campo (captura diferenciada en plataformas agrícolas)

Aplicación en la estación total: el equipo South NTS-332, que es conocido por su resistencia en ambientes difíciles y su precisión al medir aspectos concretos, se utilizó para realizar un levantamiento topográfico con estación total.

El procedimiento dio inicio con la elección y el acondicionamiento del punto base de referencia, a partir del cual se definieron las coordenadas iniciales por medio de un sistema de coordenadas local. El equipo fue calibrado con el fin de reducir errores del proceso de levantamiento. Luego se definieron en la estación total parámetros, como el registro de la altura del prisma y la del aparato (estación total). Para abarcar el área de estudio completa, se organizó el levantamiento de campo sin ninguna variación estacional. Se emplearon métodos de medición en cada estación con el objetivo de

reducir los errores. Se registraron 110 puntos en total, los cuales fueron distribuidos de manera estratégica para capturar los rasgos geométricos más importantes del terreno. En esta etapa, la recolección de datos se llevó a cabo en las parcelas de cultivo del complejo experimental, afrontando las condiciones reales del entorno agrícola. En la figura 6 se muestra el procedimiento de recolección de datos con el respaldo de la estación total.



Figura 6. Identificamos el **proceso** de recolección de datos con el apoyo de la estación total (Fuente: autoría propia).

El operador debió caminar físicamente entre los surcos de cultivo, sorteándolas plantas den desarrollo para colocar el prisma en las esquinas de las plataformas, canales de riego y quiebres de terreno. La captura se limitó a puntos discretos para evitar daños a la vegetación experimental. En la Figura 7 identificamos el registro de información topográfica en campo mediante estación total mientras que en la Figura 8 observamos el trazo de puntos auxiliares en terreno.



Figura 7. Registro de información topográfica en campo mediante estación total (Fuente autoría propia).



Figura 8. Trazo de puntos auxiliares en terreno (Fuente autoría propia).

Aplicación con Dron:

El levantamiento fotogramétrico se realizó utilizando un dron (DJI Mini 4 Pro). Se realizó la planeación del dron, que se llevó a cabo utilizando la interfase propia del dron. Este programa permitió definir un plan de vuelo optimizado. En la etapa de vuelo, el dron se programó para que alcanzará una altura de 50 metros, el cual capturo un total de 300 imágenes en un lapso de tiempo programado de 16 minutos. En la Figura 9 observamos la ejecución de vuelo para captura de imágenes por medio del dron en el área de estudio.



Figura 9. Ejecución de vuelo para captura de imágenes por medio del dron en el área de estudio (Fuente autoría propia).

2. Fase de gabinete (procesamiento digital de datos agrícolas)

Procesamiento de datos de estación total:

Los registros obtenidos se procesaron en el programa Civil 3D, a partir del cual se generaron modelos digitales de terreno que evidencian a detalle las características del terreno de la zona de estudio. Este proceso también incluyó el trazo curvas de nivel y la obtención de zonificación por pendiente.

En la Figura 10 identificamos la captura de pantalla en procesamiento de datos en programa de AutoCAD zonificación por pendientes.

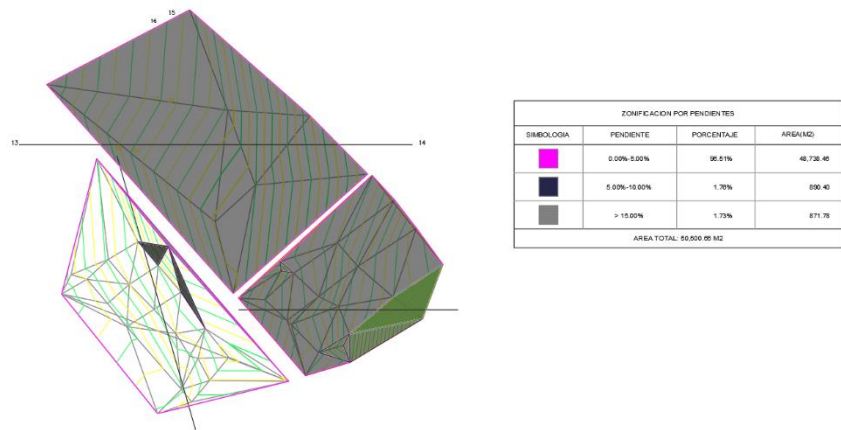


Figura 10. Captura de pantalla en procesamiento de datos en programa AutoCAD, utilizando la herramienta CivilCAD para realizar la zonificación por pendientes (Fuente autoría propia).

Las coordenadas xyz de las plataformas se importaron al programa Civil 3D. A partir de estos puntos dispersos, se dibujaron los polígonos que delimitan cada parcela experimental y se interpolaron curvas de nivel. El resultado fue un plano topográfico limpio y lineal, ideal para proyectos de nivelación de tierras o diseño de sistemas de riego por gravedad. En las Figuras 11 y 12 identificamos el procesamiento de puntos del terreno y curvas de nivel con apoyo del programa AutoCAD.

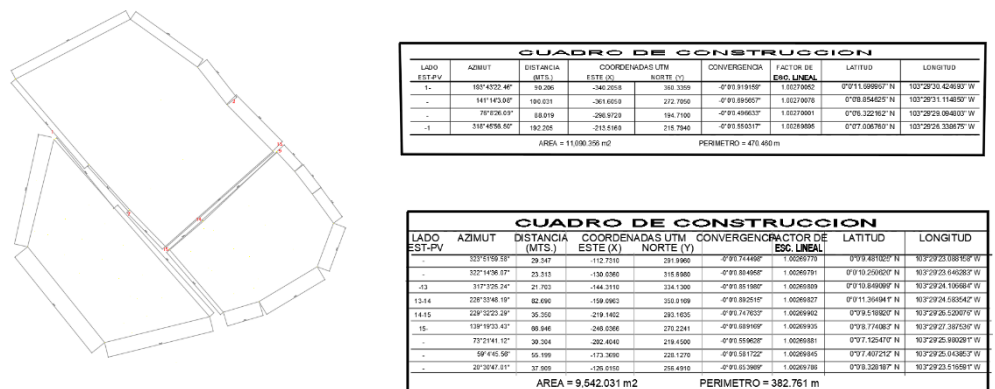


Figura 11. Captura de pantalla del programa AutoCAD, utilizando la herramienta CivilCAD donde identificamos el procesamiento de puntos del terreno que se obtuvieron con estación total (Fuente autoría propia).

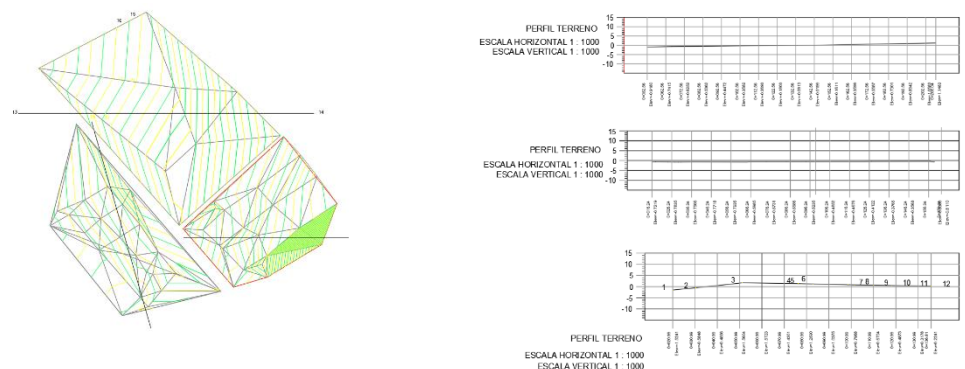


Figura 12. Captura de pantalla del programa AutoCAD, utilizando la herramienta CivilCAD donde identificamos el procesamiento de curvas de nivel (Fuente autoría propia).

Procesamiento fotogramétrico:

Las imágenes se procesaron por medio del programa Agisoft Metashape, se generan nubes de puntos, generación de ortomosaicos y generación del modelo de elevación.

La nube de puntos reconstruyó la superficie y por medio del ortomosaico se aprecia visualmente el estado fenológico, fallas de siembra y la distribución espacial exacta en las plataformas. En las Figuras 13, 14 y 15 identificamos el procesamiento de información nube de puntos, ortomosaico y generación del modelo de elevación del terreno respectivamente.

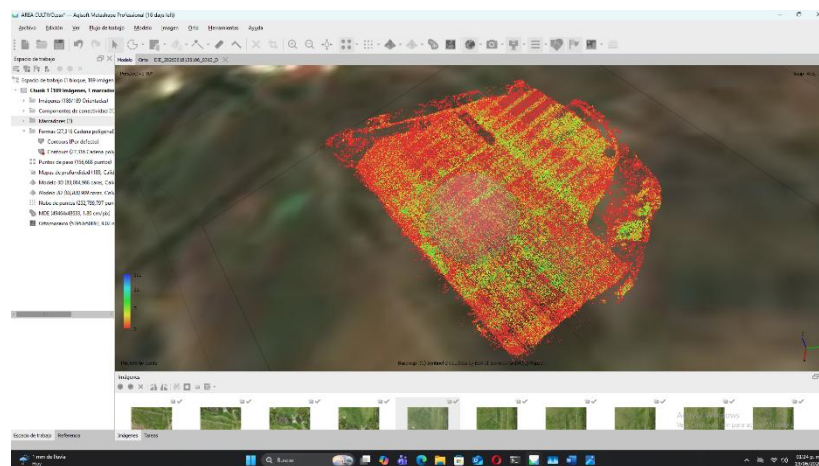


Figura 13. Nube de puntos en el programa Agisoft Metashape (Fuente autoría propia).

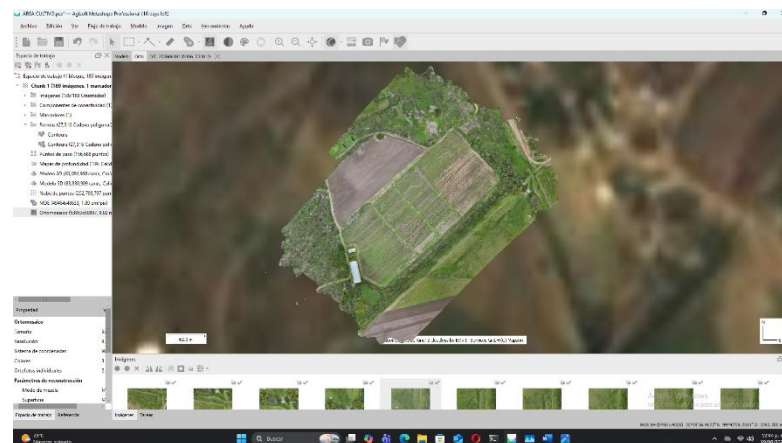


Figura 14. Creación de ortomosaico en el programa Agisoft Metashape (Fuente autoría propia).

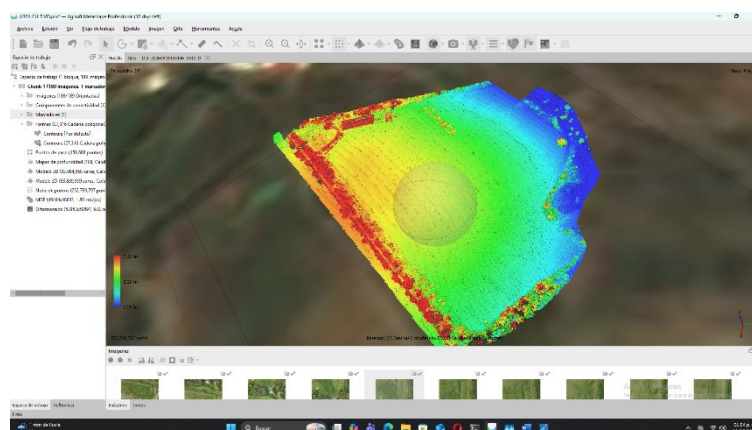


Figura 15. Generación del modelo de elevación del terreno (MDE) con el programa Agisoft Metashape (Fuente autoría propia).

3. Fase de contraste y matriz de discusión.

Esta etapa final consistió en confrontar las bitácoras operativas y los productos digitales obtenidos en el entorno de innovación agrícola:

Evaluación en el contexto agrícola: se analizaron cualitativamente las ventajas y limitaciones de cada método frente a las variables del cultivo. Por ejemplo, se contrastó cómo la estación total interactúa con el suelo real pero ralentiza el trabajo por la obstrucción física de la vegetación, frente a cómo el dron mapea hectáreas en minutos pero requiere interpretar sin la nube de puntos detectó el suelo o el dosel (follaje) de los cultivos.

Síntesis comparativa: toda la información cualitativa se organizó en una matriz para determinar cuál método es más viable según el ciclo agrícola, concluyendo cómo la fotogrametría aporta un valor de diagnóstico agroecológico visual que la topografía tradicional basada en vectores abstractos no puede ofrecer.

3. Resultados

Para estructurar la comparación cualitativa, se establecieron cuatro categorías de análisis que permiten contrastar de manera sistemática ambos métodos de levantamiento, a continuación se describen cada uno de los resultados que identificamos en cada categoría:

Eficiencia temporal y logística:

Estación total: proceso lento en campo debido a la necesidad de caminar entre surcos y parcelas para visar cada punto; gabinete rápido al procesar pocos datos.

Fotogrametría (Dron): vuelo automatizado completado en pocos minutos para cubrir toda la superficie; gabinete más demandante en tipo de cómputo para procesar las imágenes.

Densidad de información y detalle visual:

Estación total: generó un modelo abstracto de puntos dispersos que define los límites de la plataforma, pero pierde el detalle de la microtopografía interna de las parcelas.

Fotogrametría (Dron): proporcionó un ortomosaico de alta resolución que permite identificar visualmente el estado del cultivo, la continuidad del terreno y las líneas de siembra.

Accesibilidad y riesgo operativa:

Estación total: el tránsito del operador y el prisma se vio limitado o dificultado por la altura y densidad de los cultivos en desarrollo, con riesgo de dañar los cultivos experimentales.

Fotogrametría (Dron): operación sin contacto físico con el suelo, eliminando el riesgo de dañar los cultivos y superando las barreras visuales que causa la vegetación a nivel de piso.

Dependencia tecnológica y factores externos:

Estación total: inmune a las condiciones de iluminación o viento, pero dependiente de la viabilidad directa (línea de vista) entre el aparato y el prisma a través de las parcelas.

Fotogrametría (Dron DJI Mini 4 pro): altamente sensible a ráfagas de viento y cambios de luz (sombras de nubes) que afectan la calidad de las fotos y el enlace de los algoritmos SfM en Agisoft/Pix4D. En la Figura 5 identificamos el Dron DJI Mini 4 pro y control remoto para planificar el vuelo del dron.

El análisis cualitativo-descriptivo revela que la fotogrametría aérea optimiza drásticamente el tiempo de campo y aporta alta resolución visual, mientras que la estación total ofrece precisión vectorial superior, aunque con un despliegue operativo más lento. La fotogrametría depende de condiciones climáticas y se ve afectada por la vegetación mientras que la topografía clásica es inmune a factores ambientales pero limitada por los obstáculos físicos del terreno.

4. Discusión

El análisis cualitativo en las plataformas experimentales evidencia que la elección entre topografía convencional y fotogrametría aérea no debe basarse en la sustitución de una tecnología por otra, sino en la idoneidad del método según los objetivos del proyecto. agrícola y civil.

Rendimiento operativo y dinámica de campo vs. gabinete

Los resultados demuestran una inversión de los tiempos de trabajo entre ambos métodos. La estación total exige un esfuerzo físico e intelectual intenso en campo; el operador debe seleccionar estratégicamente qué puntos representan fielmente los quiebres de las parcelas, un proceso que incrementa el tiempo de exposición a la intemperie. En contraste, el levantamiento con dron traslada la mayor carga de trabajo al gabinete. Aunque el vuelo automatizado se ejecuta de manera expedita, el procesamiento fotogramétrico en programas como Agisoft Metashape o Pix4Dmapper demanda altos recursos de cómputo y tiempo para la alineación de imágenes. Para la gestión de plataformas agrícolas, donde las ventanas de tiempo son críticas debido a los ciclos de siembra, la fotogrametría aérea ofrece una ventaja logística insustituible al liberar tiempo en campo.

Abstracción vectorial frente a continuidad visual real

Desde la perspectiva de la densidad de información, la estación total ofrece un modelo abstracto y simplificado del terreno, compuesto únicamente por los vectores interpolados en AutoCAD Civil 3D. Si bien este modelo es óptimo para delimitar linderos de propiedad o diseñar canales de riego con pendientes geométricas perfectas, omite la complejidad superficial del suelo. Por el contrario, el ortomosaico y la nube de puntos densa generados por el dron aportan un valor cualitativo superior para la innovación agrícola sustentable. La continuidad visual permite realizar un diagnóstico del vigor vegetativo, identificar zonas de encharcamiento aparente, detectar fallas en líneas de siembra y analizar la erosión del suelo sin necesidad de interpolaciones matemáticas directas.

El desafío de la vegetación y los factores ambientales

El mayor punto de debate cualitativo radica en la presencia de los cultivos experimentales. El uso de la estación total en parcelas con vegetación densa o alta se vuelve ineficiente debido a la pérdida de la línea de vista entre el instrumento y el prisma, ineficiente debido a la pérdida de la línea de vista entre el instrumento y el prisma, obligando a realizar múltiples cambios de estación que acumulan errores de orientación. El mayor punto de debate cualitativo radica en la presencia de los cultivos experimentales. El uso de la estación total en parcelas con vegetación densa o alta se vuelve ineficiente debido a la pérdida de la línea de vista entre el instrumento y el prisma, obligando a realizar múltiples cambios de estación que acumulan errores de orientación. No obstante, la fotogrametría aérea enfrenta su propia limitación metodológica en este entorno: los algoritmos (SfM) reconstruyen la superficie superior de las plantas (dosel) y no el suelo real, un fenómeno documentado ampliamente en la geomática aplicada. Mientras la estación total garantiza tocar el suelo verdadero a costa de un avance lento y el riesgo de dañar las plantas, el dron captura la realidad fenomenológica completa, pero requiere un análisis crítico en gabinete para la clasificación cualitativa de la nube de puntos si se desea extraer el modelo digital del terreno (MDT).

5. Conclusiones

El estudio concluye que la fotogrametría aérea y la estación total son herramientas complementarias, donde el dron optimiza tiempos y ofrece valor visual superior mientras que la estación total garantiza precisión en terreno con vegetación densa. La selección del método depende de la etapa del proyecto, priorizando la estación total para trazo geométrico y el dron para diagnóstico espacial y monitoreo agrícola.

Contribución: Conceptualización, metodología, software, MARM: validación: JCRU y ZBTT.

Financiamiento: Esta investigación no recibió financiamiento externo.

Agradecimientos: Los autores expresan su agradecimiento al Instituto Tecnológico Superior de Huichapan (ITESHU) por facilitar el uso de sus instalaciones para el desarrollo de esta investigación. Asimismo, agradecemos la participación activa de los alumnos: Diego Memijes Martínez, Irving Suárez Martínez, Ana Laura Hernández Ángeles, Paola Ugalde Reséndiz, Leslie Banchi Dimas, Yesenia Denise Montes Cruz, María del Rosario Ramírez Cervantes, Mario Arteaga García.

En esta sección puedes dar reconocimiento a cualquier autor o institución cuyo soporte al desarrollo del estudio realizado no haya sido cubierto en las secciones de contribución de autores o financiamiento. Esto puede incluir soporte administrativo o técnico, donaciones, etc.

Conflicto de interés: Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Referencias

1. Loots, M.; Clobbelaar, S.; Lingen, E. A review of remote-sensing unmanned aerial vehicles in the mining industry. *J. S. Afr. Inst. Min. Metall.* 2022, 122, 387–396.
2. Vázquez, R. Tutorial - Planear vuelo fotogramétrico con DroneDeploy y Google Earth (Principiantes). *GeoAsset Blog*. 2018. Available online: <https://geoasset.blog/2018/10/08/tutorial-dronedeploy/> (accessed on 15 June 2022).
3. Santamaría, P. DJI Mavic 2 Pro, análisis: un nuevo nivel en calidad de video y foto con dron. *Xacata*. 2018.
4. Yumbla Verdugo, J. A., & Chabla Mocha, J. B. (2024). Análisis comparativo entre levantamientos topográficos con estación total y vehículos aéreos no tripulados (UAVS) en los Andes del sur del Ecuador (Bachelor's thesis).