

González-Moreno, M.; Cambroner-Ruiz, L.; Rodríguez-Galiano, V.; Rodrigo-Comino, J. Análisis comparativo de técnicas de filtrado de vegetación para la generación de Modelos Digitales de Elevación (MDE) a partir de datos fotogramétricos (RGB y multiespectrales) y LiDAR con dron en viñedos

Análisis comparativo de técnicas de filtrado de vegetación para la generación de Modelos Digitales de Elevación (MDE) a partir de datos fotogramétricos (RGB y multiespectrales) y LiDAR con dron en viñedos

González-Moreno, María Teresa ¹ Cambroner-Ruiz, Laura ¹ Rodríguez-Galiano, Víctor ² Rodrigo-Comino, Jesús ¹

¹ Departamento de Análisis Geográfico Regional y Geografía Física, Andalusian Research Institute in Data Science and Computational Intelligence, DaSCI, 18071, Universidad de Granada, Granada, España.

² Departamento de Geografía Física y Análisis Geográfico Regional, Facultad de Geografía e Historia, 41004, Universidad de Sevilla, Sevilla, España.

ORCID: González-Moreno 0009-0002-9675-9099 Cambroner-Ruiz 0009-0003-0874-9833 Rodríguez-Galiano 0000-0002-5422-8305 Rodrigo-Comino 0000-0002-4823-0871

Correspondencia: mteresagm@ugr.es lauracambro@ugr.es vrgaliano@us.es jesusrc@ugr.es

RESUMEN

El uso de Modelos Digitales de Elevación (MDE) derivados de sensores LiDAR (*Light Detection and Ranging*) desde drones y satélites se ha consolidado como referencia en estudios ambientales y territoriales. No obstante, esta adquisición de datos implica costes económicos, operativos y de procesamiento que pueden limitar su disponibilidad. En este escenario, los sistemas RGB y multiespectrales se presentan como una alternativa más accesible económicamente. Esta investigación analiza diferentes metodologías para la generación controlada de MDEs a partir de un vuelo realizado con un dron DJI Mavic 3 Multispectral. El objetivo es evaluar si los MDEs obtenidos mediante filtrado morfológico, discriminación espectral e interpolación pueden aproximarse al derivado de un vuelo LiDAR (DJI Zenmuse L2). El análisis se desarrolla en un viñedo localizado en el municipio de Villamena (Granada, España), donde las imágenes fueron obtenidas en condiciones comparables (hora del día similar y etapa fenológica). Los resultados evidencian diferencias altimétricas sistemáticas entre los modelos generados por defecto por los programas de procesamiento de las imágenes de ambos drones, y sugieren una mayor capacidad del LiDAR para detectar la superficie del terreno con menor influencia de la vegetación, si bien los enfoques fotogramétricos muestran potencial para aproximarse a dichos resultados bajo un procesamiento controlado. Este trabajo constituye una fase preliminar orientada a establecer un marco metodológico reproducible para la generación y evaluación de MDE fotogramétricos frente a referencia LiDAR.

Palabras clave: Modelo Digital de Elevación (MDE), Fotogrametría UAV, LiDAR, Imágenes multiespectrales, Filtrado de vegetación.


Fecha de recepción: 18 febrero 2026 · Fecha de aceptación: 18 febrero 2026

Análisis comparativo de técnicas de filtrado de vegetación para la generación de Modelos Digitales de Elevación (MDE) a partir de datos fotogramétricos (RGB y multiespectrales) y LiDAR con dron en viñedos


González-Moreno, María Teresa ⁽¹⁾, Cambrero-Ruiz, Laura ⁽¹⁾,
Rodríguez-Galiano, Víctor ⁽²⁾, Rodrigo-Comino, Jesús ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Departamento de Análisis Geográfico Regional y Geografía Física, Andalusian Research Institute in Data Science and Computational Intelligence, DaSCI, Universidad de Granada, España.

 0009-0002-9675-9099, mteresagm@ugr.es ;  0009-0003-0874-9833, lauracambro@ugr.es

 0000-0002-4823-0871, jesusrc@ugr.es

⁽²⁾ Departamento de Geografía Física y Análisis Geográfico Regional, Facultad de Geografía e Historia, Universidad de Sevilla, España.

 0000-0002-5422-8305, vrgaliano@us.es.

Resumen: El uso de Modelos Digitales de Elevación (MDE) derivados de sensores LiDAR (*Light Detection and Ranging*) desde drones y satélites se ha consolidado como referencia en estudios ambientales y territoriales. No obstante, esta adquisición de datos implica costes económicos, operativos y de procesamiento que pueden limitar su disponibilidad. En este escenario, los sistemas RGB y multiespectrales se presentan como una alternativa más accesible económicamente. Esta investigación analiza diferentes metodologías para la generación controlada de MDEs a partir de un vuelo realizado con un dron DJI Mavic 3 Multispectral. El objetivo es evaluar si los MDEs obtenidos mediante filtrado morfológico, discriminación espectral e interpolación pueden aproximarse al derivado de un vuelo LiDAR (DJI Zenmuse L2). El análisis se desarrolla en un viñedo localizado en el municipio de Villamena (Granada, España), donde las imágenes fueron obtenidas en condiciones comparables (hora del día similar y etapa fenológica). Los resultados evidencian diferencias altimétricas sistemáticas entre los modelos generados por defecto por los programas de procesamiento de las imágenes de ambos drones, y sugieren una mayor capacidad del LiDAR para detectar la superficie del terreno con menor influencia de la vegetación, si bien los enfoques fotogramétricos muestran potencial para aproximarse a dichos resultados bajo un procesamiento controlado. Este trabajo constituye una fase preliminar orientada a establecer un marco metodológico reproducible para la generación y evaluación de MDE fotogramétricos frente a referencia LiDAR.

Palabras clave: Modelo Digital de Elevación (MDE), Fotogrametría UAV, LiDAR, Imágenes multiespectrales, Filtrado de vegetación.

Comparative analysis of vegetation filtering techniques for Digital Elevation Model (DEM) generation from multispectral UAV imagery and UAV-LiDAR data in vineyards

Abstract: *The use of Digital Elevation Models (DEMs) derived from LiDAR sensors has become a reference in environmental and territorial studies. However, the acquisition of LiDAR data involves operational and processing costs that may limit their availability. In this scenario, RGB and multispectral systems emerge as a more economically accessible alternative. This study analyzes different methodologies for the controlled generation of DEMs from a flight conducted with a DJI Mavic 3 Multispectral drone. The objective is to assess whether DEMs produced through morphological filtering, spectral discrimination, and spatial interpolation can approximate the one derived from a LiDAR flight (DJI Zenmuse L2 sensor). The analysis is carried out in a vineyard located in the municipality of Villamena (Granada, Spain), where both sensors were operated under comparable conditions (similar time of day and phenological stage). The results reveal systematic altimetric differences between the default models generated by the processing software of both drone platforms and suggest a greater capacity of LiDAR to detect the ground surface with reduced vegetation influence. Nevertheless, the photogrammetric approaches show potential to approximate these results under controlled processing conditions. This work*

represents a preliminary phase aimed at establishing a reproducible methodological framework for the generation and evaluation of photogrammetric DEMs against a LiDAR reference.

Keywords: Digital Elevation Model (DEM), UAV photogrammetry, LiDAR, Multispectral imagery, Vegetation filtering.

1. INTRODUCCIÓN

Los MDS y MDE se emplean ampliamente en hidrología, geomorfología y estudios de vegetación desde hace varias décadas (Bamber, 1994; James *et al.*, 2019; Roy *et al.*, 2025; Schaap *et al.*, 2024). La modelización adecuada de estos procesos requiere que éstos sean de alta resolución y calidad (Pereira-Zamboni *et al.*, 2024). Aunque los MDS pueden resultar útiles, en ocasiones es fundamental extraer la superficie del terreno libre de vegetación, ya que esta no representa la topografía real y puede introducir errores en los análisis (Anders *et al.*, 2019).

Los drones han facilitado la adquisición de datos de alta resolución en áreas de difícil acceso, permitiendo obtener información con mayor detalle espacial (Viles, 2016). El LiDAR, como técnica activa de teledetección capaz de generar nubes de puntos a partir de las cuales se obtienen MDS y MDE de elevada precisión, mejora la representación del territorio frente a sensores pasivos multiespectrales (Liu, 2008; Ma *et al.*, 2018), pero su alto coste resulta limitante.

Para la extracción del terreno se han desarrollado métodos basados en morfología matemática, cálculo de pendientes, segmentación o redes triangulares irregulares (Sithole, 2005; Zhang y Lin, 2013), que permiten eliminar objetos situados sobre el suelo, aunque con limitaciones en determinados contextos. En los últimos años han adquirido creciente relevancia los enfoques basados en *deep learning* o aprendizaje profundo, especialmente mediante redes neuronales convolucionales (Gruszczyński *et al.*, 2019) y arquitecturas tipo *U-Net* (Na *et al.*, 2020), así como su combinación con técnicas de procesamiento por ventanas, orientadas a mejorar la segmentación y clasificación del terreno. Pese a sus resultados prometedores en precisión y rendimiento en escenarios complejos, requieren elevados tiempos de entrenamiento y procesamiento de grandes volúmenes de datos.

El objetivo de este trabajo es evaluar distintas metodologías para la generación de MDE a partir de un vuelo con dron multiespectral y compararlas con un MDE derivado de un vuelo LiDAR, con el fin de evaluar las diferencias con soluciones más económicas/operativas. El uso de MDEs obtenidos a partir de drones permitirá analizar con mayor detalle la dinámica topográfica y los procesos geomorfológicos, facilitando la detección temprana de cambios y una toma de decisiones más fundamentada para su gestión y conservación.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Área de estudio

La parcela experimental para la prueba es un viñedo ubicado en el municipio de Villamena, en la comarca del Valle de Lecrín, provincia de Granada (Fig. 1).



Figura 1. Área de estudio (a) Localización en España. (b) Vista desde satélite de la parcela. (c) Imagen del viñedo.

Se trata de una plantación de aproximadamente 10 años de antigüedad y 1 km de longitud, caracterizada por una estructura regular en hileras y una topografía suavemente ondulada. El área se sitúa en el Complejo Alpujárride, con predominio de materiales carbonatados, lo que condiciona la dinámica geomorfológica local y la respuesta del relieve a escala microtopográfica (Cambroner-Ruiz *et al.*, 2025). La presencia de vegetación espontánea asociada al cultivo como cubierta entre las calles convierte el emplazamiento en un escenario adecuado para evaluar técnicas de eliminación de vegetación en la generación de MDE a partir de datos de dron.

2.2. Fuentes de datos

Los datos fotogramétricos utilizados provienen de un dron DJI Mavic 3 Multispectral y un DJI MATRICE 350 (sensor LiDAR Zenmuse L2). El vuelo LiDAR se llevó a cabo entre los días 4 y 5 de junio de 2025 y cubrió un área de 0,378 km². Se ejecutaron tres vuelos a alturas comprendidas entre 51,9 y 77,8 m y velocidad media aproximada de 4,1 m/s, mediante pasadas paralelas en modo lineal. La georreferenciación se realizó mediante posicionamiento RTK y se apoyó en 10 puntos de control terrestre medidos con GPS RTK con precisión de 0,20 cm. La nube de puntos alcanzó una densidad media de 1702 pts/m². El procesamiento se efectuó en DJI Terra (v5.1.0), incluyendo optimización geométrica, suavizado y clasificación automática de puntos de terreno. Se generaron ortomosaico y MDS de alta resolución (1,6 y 3,2 cm respectivamente), así como MDE con resolución de 10 cm. La solución POS fue fija en el 100% de la trayectoria, con *Root Mean Square Error* (RMSE)

promedio de 0,005-0,007 m en XYZ, indicando precisión milimétrica en la georreferenciación.

El vuelo de Mavic 3 Multispectral se realizó el día 23 de julio de 2025, mediante misión automatizada en rejilla con cámara en configuración nadiral, a una altura de 65 m, velocidad aproximada de 5,8 m/s y 70 % de solape. Se adquirió un bloque RGB (521 imágenes) y un bloque multispectral de cuatro bandas (Green, Red, Red Edge y NIR; 2084 imágenes). El procesamiento se efectuó en Pix4Dmapper (v4.9.0), y la georreferenciación se realizó mediante 19 puntos de control, alcanzando un *Root Mean Square* (RMS) de 0,013 m en RGB y 0,046 m en multispectral. Además de las bandas individuales y el índice NDVI con resolución aproximada de 3,7 cm, se generaron ortomosaico y MDS con resolución de 2,27 cm y MDE a 11,3 cm, así como nube de puntos densificada en el bloque RGB. Más información con ejemplos del uso y planificación con estos drones se puede encontrar en Rodrigo-Comino *et al.* (2026).

2.3. Metodologías aplicadas

Los vuelos fueron reproyectados al mismo sistema de coordenadas, remuestreados y alineados entre celdas, para garantizar su compatibilidad y comparabilidad. Después, se han aplicado diferentes metodologías para la obtención de MDE alternativos al generado por defecto en Pix4Dmapper.

Uno de los métodos empleados es el propuesto por González-Moreno y Rodrigo-Comino (2025), que consta de cuatro etapas: (i) aplicación de un filtro morfológico del complemento SAGA en QGIS (v3.40.10) para suavizar la vegetación (método *Opening*, kernel circular y radio de 25 píxeles); (ii) generación de un MDS normalizado (nMDS); (iii) eliminación de la vegetación mediante el establecimiento de un umbral basado en la capa anterior (0,05 m, tras análisis del histograma del nMDS e inspección visual); y (iv) aplicación de distintos métodos de interpolación (*IDW*, *Kriging* en sus distintas variantes, *RF*, entre otros) (Gomroki *et al.*, 2017; Anders *et al.*, 2019), seleccionando el más preciso tras su evaluación a través del cálculo de R^2 y RMSE. Otras metodologías parten de datos diferentes al MDS generado por Pix4D. En otro enfoque, se utiliza el NDVI como base para la discriminación de la vegetación, estableciendo un umbral a partir de dicho índice.

Tras la generación de diferentes prototipos de MDE, se procederá a su comparación mediante inspección visual y operaciones matemáticas a nivel de píxel, incluyendo el cálculo de métricas descriptivas y de error entre los MDE generados.

3. RESULTADOS

Se presentan los primeros resultados basados en análisis descriptivo y en la inspección de algunos de los procesos metodológicos aplicados.

Tabla 1. Caracterización preliminar de MDEs fotogramétrico y LiDAR por defecto (metros).

MDE	Min.	Max.	Media	Desv.
Fotogramétrico	753,4	777,8	762,4	3,9
LiDAR	751,4	776,9	760,9	4,1

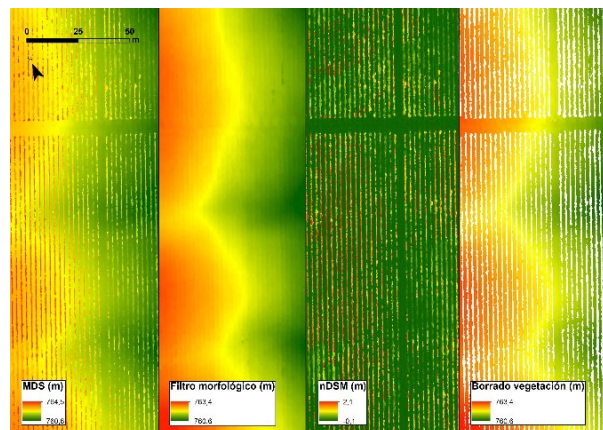


Figura 2. Secuencia de conversión MDS-MDE (metodología González-Moreno y Rodrigo-Comino, 2025).

Los resultados muestran diferencias altimétricas sistemáticas (Tabla 1) con valores medios ligeramente inferiores en el MDE LiDAR, lo que podría indicar una mayor capacidad de detección del terreno a nivel del suelo. Asimismo, el MDE LiDAR presenta una desviación estándar ligeramente superior, lo que sugiere mayor heterogeneidad altimétrica. En la Figura 2 se muestra el proceso de conversión de MDS a MDE (González-Moreno y Rodrigo-Comino, 2025), donde se observa la secuencia de suavizado de la vegetación (filtro morfológico), generación del nMDS y eliminación de la vegetación a partir del MDS, para la posterior aplicación de distintos métodos de interpolación.

4. PRIMERAS CONCLUSIONES

Los resultados preliminares evidencian diferencias altimétricas sistemáticas entre los MDE generados por defecto a partir de los vuelos fotogramétrico y LiDAR. Las metodologías alternativas aplicadas sobre los datos fotogramétricos muestran potencial para generar MDE controlados mediante la combinación de filtrado morfológico, discriminación espectral e interpolación espacial. Asimismo, la parametrización del filtrado y la selección del método de interpolación se perfilan como factores determinantes en la calidad final del modelo. Aunque la validación cuantitativa detallada se encuentra en desarrollo, y en consonancia con investigaciones previas, se considera que, bajo un procesamiento adecuado, los datos fotogramétricos podrían aproximarse de forma consistente a los modelos derivados de LiDAR, especialmente en superficies agrícolas relativamente homogéneas.

5. AGRADECIMIENTOS

Nos gustaría mostrar agradecimiento al proyecto europeo SOILCRATES (Grant Agreement No. 101157354), financiado por la Unión Europea en el marco de Horizon Europe - the Framework Programme for Research and Innovation (2021-2027); los proyectos SOSVITI (MSCE). Call: HORIZON-MSCA-2023-SE-01 (MSCA Staff Exchanges 2023) y GOSOSVITI: Creación de una herramienta DSS (Decision Support System) para el manejo sostenible del suelo en viticultura; y al Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades, bajo

el proyecto “Desarrollo de productos basados en los nuevos sensores satelitales hiperespectrales europeos e ia para la caracterizacion de estresores en tierras de cultivo (HIPROESTRES)” (PID2023-152656OB-I00), dentro del Programa Estatal de Investigación Científica, Técnica y de Innovación (2021–2023).

6. REFERENCIAS

- Anders, N., Valente, J., Masselink, R., & Keesstra, S. (2019). Comparing filtering techniques for removing vegetation from UAV-based photogrammetric point clouds. *Drones*, 3(3), 61. <https://doi.org/10.3390/drones3030061>
- Bamber, J. L. (1994). A digital elevation model of the Antarctic ice sheet derived from ERS-1 altimeter data and comparison with terrestrial measurements. *Annals of Glaciology*, 20, 48-54. <https://doi.org/10.3189/1994AoG20-1-48-54>
- Cambronerero, L., Yu, Y., & Rodrigo-Comino, J. (2025). Scaling up analysis of human impacts on hydrological connectivity in Mediterranean viticultural landscapes: From hillslope to a watershed perspective. *Ecohydrology & Hydrobiology*, 25(4). <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2025.100700>
- DJI. (2025). DJI Terra v5.1.0 [Software]. <https://www.dji.com/dji-terra>
- Gomroki, M., Jafari, M., Sadeghian, S., & Azizi, Z. (2017). Application of intelligent interpolation methods for dtm generation of forest areas based on lidar data. *PFG–Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science*, 85(4), 227-241. <https://doi.org/10.1007/s41064-017-0025-0>
- González-Moreno, M. T., & Rodrigo-Comino, J. (2025). Geostatistical Vegetation Filtering for Rapid UAV- RGB Mapping of Sudden Geomorphological Events in the Mediterranean Areas. *Drones*, 9(6), 441. <https://doi.org/10.3390/drones9060441>
- James, M. R., Chandler, J. H., Eltner, A., Fraser, C., Miller, P. E., Mills, J. P., ... & Lane, S. N. (2019). Guidelines on the use of structure-from-motion photogrammetry in geomorphic research. *Earth Surface Processes and Landforms*, 44(10), 2081-2084. <https://doi.org/10.1002/esp.4637>
- Liu, X. (2008). Airborne LiDAR for DEM generation: some critical issues. *Progress in Physical Geography*, 32(1), 31-49. <https://doi.org/10.1177/0309133308089496>
- Ma, H., Zhou, W., & Zhang, L. (2018). DEM refinement by low vegetation removal based on the combination of full waveform data and progressive TIN densification. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 146, 260-271. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2018.09.009>
- Na, J., Xue, K., Xiong, L., Tang, G., Ding, H., Strobl, J., & Pfeifer, N. (2020). UAV-based terrain modeling under vegetation in the chinese Loess plateau: A deep learning and terrain correction ensemble framework. *Remote Sensing*, 12(20), 3318. <https://doi.org/10.3390/rs12203318>
- Pereira-Zamboni, P. A. P., Hendrickx, H., Sprute, D., Flatt, H., Rushdi, M. I., Brodrecht, F., & Eltner, A. (2024). Synergistic image and point cloud processing of UAV data for urban flood modeling: point cloud smart thinning and curb mapping. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 48, 483-490. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-2-W8-2024-483-2024>
- Pix4D SA. (2025). Pix4Dmapper v4.9.0 [Software]. <https://www.pix4d.com/product/pix4dmapper-photogrammetry-software/>
- QGIS Development Team. (2026). QGIS Geographic Information System v3.40.10 [Software]. <https://qgis.org/>
- Rodrigo Comino, J., Gatea Al-Shammary, A. A., Durán Zuazo, V. H., Serrano Bernardo, F. A., Caballero Calvo, A., & Rodríguez-Galiano, V. (2025). The Limits of RGB-Based Vegetation Indexes under Canopy Degradation: Insights from UAV Monitoring of Harvested Cereal Fields. *Drones and Autonomous Vehicles*, 3(1). <https://doi.org/10.70322/dav.2025.10021>
- Roy, D., Desai, V. R., & Aithal, B. H. (2025). A GIS-based integrated assessment of geomorphometry with land use dynamics for topographically harsh ungauged watershed. *Journal of Earth System Science*, 134(2), 101. <https://doi.org/10.1007/s12040-025-02557-7>
- Schaap, P., van der Velde, Y., de Louw, P., & Bartholomeus, H. (2024). DTM resolution controls the accuracy of estimating surface runoff indicators in flat, lowland landscapes. *Hydrological Processes*, 38(5), e15173. <https://doi.org/10.1002/hyp.15173>
- Sithole, G. (2005). Segmentation and classification of airborne laser scanner data (Vol. 59). Netherlands Geodetic Commission.
- Viles, H. (2016). Technology and geomorphology: Are improvements in data collection techniques transforming geomorphic science?. *Geomorphology*, 270, 121-133. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.07.011>
- Gruszczyński, W., Puniach, E., Cwiąkała, P., & Matwij, W. (2019). Application of convolutional neural networks for low vegetation filtering from data acquired by UAVs. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 158, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2019.09.014>
- Zhang, J., & Lin, X. (2013). Filtering airborne LiDAR data by embedding smoothness-constrained segmentation in progressive TIN densification. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 81, 44-59. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2013.04.001>