

## Comparación de parámetros de olivos a partir de UAV y datos LiDAR aéreos

López-Cortés, I.<sup>(1)</sup>, Martí-Gavilá, J.<sup>(2)</sup>, Estornell, J.<sup>(3)</sup>, Fernández-Sarría, A.<sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup> Departamento de Producción Vegetal, Universitat Politècnica de València, Camino de Vera s/n, 46022, Valencia, España. islocor@upv.es

<sup>(2)</sup> Instituto de Investigación para la Gestión Integrada de Zonas Costeras – IGIC. Universitat Politècnica de València, Campus Gandia, c/ Paranimf, 1, 46730 Grao de Gandia, Valencia, España.

<sup>(3)</sup> Grupo Cartografía GeoAmbiental y Teledetección – CGAT. Universitat Politècnica de València, Camino de Vera s/n, 46022 Valencia, España.

**Resumen:** En este trabajo se compararon la altura total y de copa, diámetro de copa y de tronco de un conjunto de olivos a partir de imágenes tomadas desde un UAV y datos LiDAR aéreos. Para ello, se seleccionaron 40 olivos en dos parcelas del término municipal de Viver (Castellón, España). Se aplicaron algoritmos *Structure From Motion* (SfM) sobre las imágenes tomadas desde un UAV para la generación de las nubes de puntos 3D. A partir de estos datos (nubes de puntos LiDAR y UAV) se obtuvieron los siguientes parámetros para cada árbol: área y diámetros de copas, elevaciones máximas, mínimas, medias y desviación estándar de los puntos de las copas. Destacar los resultados obtenidos en la altura total y el diámetro de copa derivada de las nubes de puntos SfM con valores de  $R^2$  de 0,83 en ambos casos. Además, se observó una mejora significativa en la precisión de las alturas totales y de copa de los olivos utilizando datos SfM en comparación al sistema LiDAR aéreo. Los datos del sistema LiDAR aéreo de baja densidad generaron buenos resultados especialmente en la estimación del diámetro de tronco.

**Palabras clave:** SfM, CHM, MDS, MDE, UAV, LiDAR.

### *Comparison of olive tree parameters from an unmanned aerial vehicle and Airborne LiDAR data*

**Abstract:** In this study, the total and crown height, crown and stem diameter of a set of olive trees were compared using processed data from an unmanned aerial vehicle and Airborne LiDAR data. To do this, 40 olive trees were selected in two plots of Viver (Castellon, Spain). Structure From Motion (SfM) algorithms were applied to the images taken from a UAV for the generation of 3D point clouds. From these data (LiDAR and UAV 3D clouds), the following parameters were obtained for each tree: area and diameter of crowns, maximum, minimum, average and standard deviation of the point elevations. Highlight the results obtained for total height and crown diameter derived from SfM point clouds with  $R^2$  values of 0.83 in both cases. Furthermore, a significant improvement of total and crown height accuracy using SfM data was observed compared to the Airborne LiDAR system. Airborne LiDAR data generated good results, especially in the estimation of stem diameter.

**Keywords:** SfM, CHM, MDS, MDE, UAV, LiDAR.

### 1. INTRODUCCIÓN

La creciente disponibilidad de información geográfica en sus múltiples formatos junto al desarrollo de nuevas tecnologías de observación terrestre a un coste asequible como UAVs (LiDAR e imágenes), permite generar nuevas líneas de investigación en agricultura enfocadas a la estimación, inventariado y gestión de recursos procedentes de las plantaciones frutales.

Estudios recientes indican que la biomasa residual de los árboles agrícolas puede ser estimada a partir de parámetros dendrométricos como altura del árbol, altura de la copa y diámetro de la copa (Velázquez-Martí et al., 2014; Velázquez-Martí et al., 2011). El proceso de medición en campo de estos parámetros a gran escala conlleva altos costes en personal y tiempo. En consecuencia, es de gran interés la determinación de estos parámetros de manera automática a gran escala y con una precisión aceptable.

Desde hace algunos años, la tecnología LiDAR ha sido la principal forma de obtener nubes de puntos 3D. Sin embargo, los avances en el campo de la visión por ordenador combinados con los fundamentos de

fotogrametría han permitido la generación de nubes de puntos 3D a partir de fotografías tomadas con cámaras no calibradas e instaladas en UAVs. Para ello se utilizan algoritmos basados en técnicas fotogramétricas y visión por ordenador como *Structure from Motion* (SfM) (Wallace et al., 2016). Esta técnica se basa en la identificación de manera automática de elementos comunes en un conjunto de imágenes, calculando la posición y orientación de la cámara y de cada imagen con solape y ajustando en bloque de manera iterativa el conjunto de imágenes para reconstruir las escenas en 3D. Ubicando y midiendo puntos con coordenadas GNSS en las fotografías se puede obtener una nube de puntos de alta densidad escalada y en el sistema de referencia ETRS89.

El empleo de plataformas UAV en la agricultura está potenciando el desarrollo de nuevas líneas de investigación. Los datos así obtenidos, de gran detalle espacial, elevada repetitividad y bajo coste, están siendo aplicados en agricultura de precisión (Díaz-Varela et al., 2015; Torres-Sánchez et al., 2015; Zarco-Tejada et al., 2014), si bien es necesario avanzar y adaptar esta tecnología sobre

cultivos frutales y comparar los resultados obtenidos mediante otras tecnologías como el LiDAR aéreo.

En este trabajo se estimaron los parámetros altura total, altura de copa, diámetro de copa y de tronco de olivos a nivel de árbol individual procesando datos de un sensor LiDAR aéreo e imágenes en visible tomadas desde UAV, plataformas en auge y con un menor coste de captura.

## 2. MATERIALES Y DATOS

En este trabajo se han utilizado dos conjuntos de datos. El primero consiste en datos LIDAR correspondientes al PNOA (cedido por © IGN), con las características siguientes: fecha de vuelo 24 al 27 de enero de 2018; sensor: LM7800; altura media: 3000 m s.n.m.; frecuencia de pulso: 266667 Hz; FOV transversal de la toma de puntos LiDAR: 50°; frecuencia de escaneado: 100 LxS; velocidad del avión: 160 knots; 2 pto/m<sup>2</sup> de media.

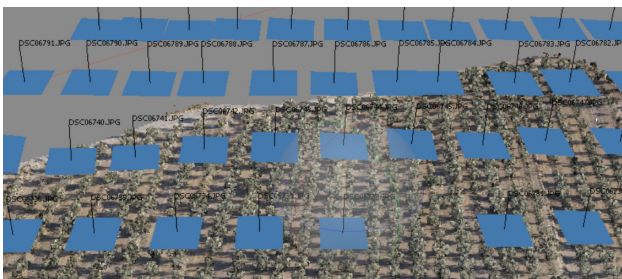
El segundo grupo de datos son nubes de puntos de alta densidad obtenidas por técnicas de fotogrametría automatizada (SfM) aplicada sobre 270 fotografías aéreas tomadas con un UAV. El vuelo se realizó los días 21 y 27 de diciembre de 2017 por la empresa IDS (Idronsystems, <https://idronsystems.com/>). Se empleó un octocóptero TOPODRON FV8, con sensor de presión, giróscopos y acelerómetros integrados y antena GNSS con precisión métrica. La plataforma navega basándose en GNSS, estabilizando su posición gracias a los sensores inerciales, manteniendo su altitud gracias a un sensor de presión y corrigiendo la orientación mediante una brújula electrónica. La carga de pago (o carga operativa), fue la cámara fotográfica ILCE-5000, de SONY, no calibrada, con una resolución máxima de 24,3 Mpix, y un tamaño de píxel en el sensor de 0,0044 mm. Se empleó una focal de 16 mm para capturar un mayor campo de visión, definiendo la velocidad del obturador en 1/800 y dejando en modo automático tanto la ISO como la apertura del diafragma.

El área de trabajo se segmentó en 2 parcelas para optimizar los tiempos de vuelo y la captura de imágenes. Para cada una de ellas se realizó un proyecto de vuelo específico, con solapes mínimos entre fotografías del 60%. En la parcela 1 se tomaron 26 imágenes a una altura de vuelo de 92 m, mientras que en la parcela 2, de mayor tamaño, se tomaron 244 fotografías (incluyendo parcelas colindantes) a una altura de vuelo de 90 m.

Los apoyos se realizaron con receptor Leica GPS1200. Se analizó la distribución óptima (homogénea por toda la parcela) de los apoyos. Su materialización en el terreno se realizó mediante dianas blancas/negras circulares de 40 cm de radio, en cuyo centro se determinaron las coordenadas.

El procesamiento fotogramétrico se hizo con PhotoScan Professional v.1.2.5 ([www.agisoft.com](http://www.agisoft.com)), el cual calibra cámaras, reconstruye la geometría de la captura fotográfica, dota de georreferenciación y geometría y genera nubes de puntos de alta densidad a partir de múltiples vistas. Se trabajó con dos proyectos independientes (uno por zona), obteniendo una nube de puntos ajustada a la parcela 1 de unos 4 millones de puntos (densidad media de 239 pto/m<sup>2</sup> en copa), mientras que en la zona 2 la nube de puntos era de casi 27 millones de puntos (densidad

media de 540 pto/m<sup>2</sup> en copa). En la figura 1 se aprecia un fragmento de la parcela 2 con varias pasadas de vuelo y sus imágenes.



**Figura 1.** Fragmento de la parcela 2 con parte de las fotografías y pasadas realizadas.

En cuanto al apoyo geodésico, se han empleado 17 puntos. Tras su identificación sobre los fotogramas se ha realizado una estimación del ajuste en bloque. Los resultados muestran errores totales de entre 12 y 34 cm. (en la tabla 1 se detallan los errores planimétricos y altimétricos).

**Tabla 1.** Errores (en metros) cometidos en los apoyos por GNSS tras aplicar la transformación en bloque.

Zona	Apoyos	E. total	E. X	E. Y	E. Z	Fotos
2	12	0,34	0,14	0,14	0,28	244
4	5	0,12	0,09	0,07	0,02	26

El área de trabajo se localizó en el término municipal de Viver (Castellón). Se localizaron dos parcelas de *Olea europea* variedades arbequina (Parcela 1) y picual (Parcela 2). Se seleccionaron 40 árboles (25 árboles en la primera parcela y 15 en la segunda) cubriendo un rango variable, continuo y representativo de tamaños. Para ello se seleccionó el diámetro de tronco como parámetro para diferenciar el tamaño de los árboles. Los valores de este parámetro en los árboles seleccionados siguieron una distribución normal con el estadístico Z de Kolmogorov-Smirnov 0,82 y p-valor 0,51. En cada árbol se midió el diámetro de tronco mediante una cinta pi a 0,6 m de altura, 4 diámetros de copa en las direcciones N-S, E-O, NE-SO y NO-SE (cuya media es el valor usado) utilizando una cinta métrica, 4 medidas de las alturas desde el suelo a la primera rama viva por árbol, también con cinta, y 3 valores de altura total (cuya media es el valor usado) utilizando una pértiga. La altura de copa se obtuvo a partir de la diferencia entre el valor promedio de altura total y el valor promedio de las 4 alturas del suelo a la primera rama viva. Los estadísticos de los datos medidos en campo se pueden observar en la tabla 2.

**Tabla 2.** Estadísticos de los olivos medidos en campo.

Parámetro (m)	$\mu$	$\sigma$	Max	Min
Altura total	3,81	0,76	4,98	2,58
Altura copa	3,25	0,82	4,48	1,70
Diámetro copa	4,97	0,96	6,46	2,44
Diámetro tronco	0,16	0,07	0,32	0,07

## 3. METODOLOGÍA

A partir de las nubes de puntos 3D (LiDAR y UAV) se calcularon para cada conjunto de datos un MDT, un MDS y un MDS normalizado (MDSn). Para ello se utilizó el programa ArcGIS® software by Esri generando estructuras

*Terrain Dataset.* Para la generación del MDT se utilizó una ventana de búsqueda de puntos con elevación mínima en un vecindario de  $2 \times 2$  m. Se observó que este parámetro fue adecuado teniendo en cuenta las características de la zona de estudio: zonas sin vegetación entre filas de árboles y pendiente suave. El MDT final se exportó utilizando una resolución de  $0,5 \times 0,5$  m. El MDS se calculó utilizando una ventana de  $0,5 \times 0,5$  m seleccionando los puntos con elevación máxima en su interior. A partir de estas superficies se calculó la diferencia obteniendo el MDSn de  $0,5 \times 0,5$  m. De esta imagen se derivó la clase de olivos reclasificando el MDSn a partir del intervalo de alturas (0,57-6 m). El primer valor de este intervalo correspondió al promedio de las alturas del suelo a la primera rama viva de todos los árboles observados y el segundo a la altura máxima observada de olivos. La imagen reclasificada se transformó a polígonos obteniendo las copas de los olivos y su área (Area).

A partir de los polígonos de las copas se extrajeron los valores de los diámetros siguiendo la siguiente metodología: a) generación de un campo con los identificadores de los árboles seleccionados; b) cálculo de los centroides; c) extracción capa puntos a partir vértices de los polígonos; c) cálculo de distancias centroides a cada vértice; d) cálculo del radio medio por árbol; e) el diámetro de cada copa (Dc) se obtuvo multiplicando por 2 el valor del radio medio.

Por otro lado, las copas de los árboles se superpusieron espacialmente con las nubes de puntos (LiDAR y UAV) para calcular las estadísticas valor mínimo (Min), máximo (Max), media ( $\mu$ ) y desviación estándar de las elevaciones ( $\sigma$ ) de los puntos en el interior de las copas con altura mínima superior a 0,57 m (promedio de las alturas del suelo a la primera rama viva de todos los árboles observados).

Los parámetros altura total (Ht) y de copa (Hc), diámetros de copa (Dc) y tronco (Dt) medidos en campo se estimaron a partir de los parámetros antes comentados (Area, Dc, Min, Max,  $\mu_L$  y  $\sigma_L$ ) derivados de las nubes de puntos LiDAR y UAV y se analizaron utilizando los valores de los coeficientes de determinación y RMSE. La nomenclatura usada es la siguiente:

- LiDAR:  $Dc_L$ ,  $Area_L$ ,  $Min_L$ ,  $Max_L$ ,  $\mu_L$ ,  $\sigma_L$

- UAV:  $Dc_{UAV}$ ,  $Area_{UAV}$ ,  $Min_{UAV}$ ,  $Max_{UAV}$ ,  $\mu_{UAV}$ ,  $\sigma_{UAV}$

#### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se obtuvieron en general modelos más precisos para estimar las variables Ht, Hc y Dc utilizando datos adquiridos con el UAV con valores máximos de  $R^2$  de 0,83 para los casos de Ht y Dc (Tabla 3). Para estas variables se obtuvieron unos valores de RMSE de 0,31 m (8% del valor medio de Ht medido en campo) y 0,39 m (7,8% del valor medio de Dc), respectivamente. En el caso de la altura total, los mejores resultados obtenidos al utilizar dispositivos UAVs se pueden explicar teniendo en cuenta la mayor capacidad de esta tecnología para definir y registrar las partes elevadas de las copas (Figura 2). Además, se analizaron las diferencias entre las alturas totales medidas en campo y los

valores de altura máxima obtenidos por UAV y LiDAR. El valor medio de las diferencias en el primer caso fue de  $-0,01$  m y en el segundo de 0,58 m lo que indica la mayor precisión de los datos tomados desde UAVs para obtener esta variable. Además, los resultados obtenidos coincidirían con los estudios previos en los que indicaron que los datos LiDAR aéreos subestiman la altura total en árboles frutales (Hadás et al., 2017; Estornell et al., 2015).

El diámetro de copa obtenido con imágenes del UAV ( $R^2=0,83$ ,  $RMSE=0,39$  m) fue más preciso que el resultante de las variables medidas en la nube LiDAR ( $R^2=0,75$ ,  $RMSE=0,46$  m).

En cuanto a la estimación de la altura de la copa se observaron mayores diferencias al utilizar datos LiDAR obteniendo un valor de  $R^2$  de 0,72 frente al valor de 0,79 para el caso de utilizar UAV (Tablas 3 y 4). En este sentido fue interesante comparar la altura del suelo a la primera rama viva medida en campo y el valor de este parámetro obtenido a partir de los datos del UAV obteniendo una diferencia media de  $-0,02$  m. Al comparar este parámetro con la altura mínima de la copa derivada del LiDAR la diferencia media fue de  $-0,71$  m indicando que la altura de la primera rama viva de la copa es sobreestimada con LiDAR y dado que se subestima la altura máxima, como se ha comentado anteriormente, se genera una subestimación significativa de la altura de copa (Figura 2). Los mejores resultados obtenidos a partir del UAV pueden explicarse teniendo en cuenta que se adquieren imágenes de toda la copa de los árboles incluidas las partes laterales pudiendo generar una nube de puntos 3D de mayor detalle, incluidas estas partes (Figura 2).

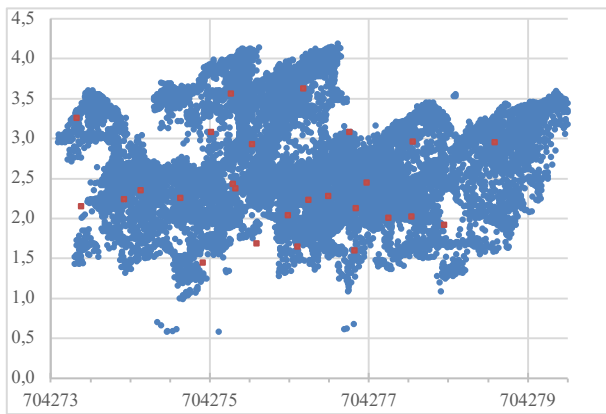
Por lo que respecta a la estimación del diámetro de tronco, éste se obtuvo con mayor precisión a partir de los parámetros derivados de LiDAR (área de la copa y desviación estándar de las elevaciones de los puntos en el interior de las copas) con valores de  $R^2$  y RMSE de 0,84 y 0,03 m (18% del valor medio de Dt medido en campo), respectivamente. Resultados similares se obtuvieron en otros estudios a partir de la información del LiDAR aéreo (Estornell et al., 2018).

**Tabla 3.** Parámetros estimados a partir de estadísticos de las nubes de puntos 3D del UAV. RMSE en metros.

Parámetro	Ecuación	$R^2$	RMSE
Ht (m)	$Ht = 1,39 \cdot \mu_{UAV} + 0,42$	0,83	0,31
Hc (m)	$Hc = 1,47 \cdot \mu_{UAV} - 0,32$	0,79	0,36
Dc (m)	$Dc = 0,77 \cdot Dc_{UAV} + 1,62$	0,83	0,39
Dt (cm)	$Dt = 0,84 \cdot Area_{UAV} + 5,47$	0,76	0,03

**Tabla 4.** Parámetros estimados a partir de estadísticos de las nubes de puntos 3D de LiDAR. RMSE en metros.

Parámetro	Ecuación	$R^2$	RMSE
Ht (m)	$Ht = 1,19 \cdot Max_L - 0,05$	0,78	0,35
Hc (m)	$Hc = 1,24 \cdot Max_L - 0,76$	0,72	0,42
Dc (m)	$Dc = 0,88 \cdot Dc_L + 0,95$	0,75	0,46
Dt (cm)	$Dt = 0,61 \cdot Area_L + 23,43 \cdot \sigma_L - 4,21$	0,84	0,03



**Figura 2.** Alzado en el plano XY de los puntos de copa de un olivo representativo de la parcela 2 obtenidos por UAV (● azul) y por LiDAR (■ rojo). Coordenadas X (UTM) y alturas normalizadas en metros.

## 5. CONCLUSIONES

En este estudio se ha demostrado que la aplicación de algoritmos SfM sobre imágenes tomadas desde un UAV proporcionan buenos resultados en la estimación de los principales parámetros de los olivos Ht, Hc, Dc y Dt no generando subestimación de las alturas totales y de copas comparado con los resultados tomados por un sistema LiDAR. Respecto a la magnitud horizontal Dc, ambas metodologías permiten obtener resultados parecidos, si bien el empleo de técnicas fotogramétricas automatizadas sobre imágenes de UAVs se muestra más precisa. Destacar por último los buenos resultados de Dt obtenidos con datos LiDAR de baja densidad.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- Díaz-Varela, R., de la Rosa, R., León, L., Zarco-Tejada, P. 2015. High-Resolution airborne UAV imagery to assess olive tree crown parameters using 3D photo reconstruction: Application in breeding trials. *Remote Sensing*, 7(4), 4213–4232.
- Estornell, J., Ruiz, L.A., Velázquez-Martí, B., López-Cortés, I., Salazar, D., Fernández-Sarría, A. 2015. Estimation of pruning biomass of olive trees using airborne discrete-return LiDAR data. *Biomass and Bioenergy*, 81, 315-321.
- Estornell, J., Velázquez-Martí, B., Fernández-Sarría, A., Martí, J. 2018. Lidar methods for measurement of trees in urban forests. *Journal of Applied Remote Sensing*, 12(4), 046009-1 - 046009-17
- Hadás, E., Borkowski, A., Estornell, J., Tymkow, P. 2017. Automatic estimation of olive tree dendrometric parameters based on airborne laser scanning data using alpha-shape and principal component analysis. *GIScience & Remote Sensing*
- Torres-Sánchez, J., López-Granados, F., Serrano, N., Arquero, O., Peña, J.M. 2015. High-Throughput 3-D monitoring of agricultural-tree plantations with unmanned aerial vehicle (UAV) technology. *PLoS ONE*, 10(6).

Velázquez-Martí, B., Fernández-González, E., López-Cortés, I., Salazar-Hernández, D. 2011. Quantification of the residual biomass obtained from pruning of trees in Mediterranean olive groves. *Biomass and Bioenergy*, 35 (7), 3208-3217.

Velázquez-Martí, B., López-Cortés, I., Salazar, D.M. 2014. Dendrometric analysis of olive trees for wood biomass quantification in Mediterranean orchards. *Agroforestry Systems*, 88 (5), 755-765.

Wallace, L., Lucieer, A., Malenovský, Z., Turner, D., Vopenka, P. 2016. Assessment of Forest Structure Using Two UAV Techniques: A Comparison of Airborne Laser Scanning and Structure from Motion (SfM) Point Clouds. *Forests*, 7, 62.

Zarco-Tejada, P.J., Diaz-Varela, R., Angileri, V., Loudjani, P. 2014. Tree height quantification using very high resolution imagery acquired from an unmanned aerial vehicle (UAV) and automatic 3D photo-reconstruction methods. *European Journal of Agronomy*, 55, 89–99.