

Comparación de medidas de *Nerium oleander* L. mediante medición clásica, láser escáner terrestre (TLS) e imágenes derivadas de drones (UAV)

Carbonell-Rivera, J.P.⁽¹⁾, Estornell, J.⁽¹⁾, Ruiz, L.A.⁽¹⁾, Torralba, J.⁽¹⁾, López-Cortés, I.⁽²⁾, Salazar, D.⁽²⁾

⁽¹⁾ Grupo de Cartografía GeoAmbiental y Teledetección, Universitat Politècnica de València, Camí de Vera s/n, 46022, Valencia, España. juacarri@upv.es

⁽²⁾ Dpto. Producción Vegetal, Universitat Politècnica de València. Camino de Vera s/n, 46022, Valencia. España.

Resumen: El uso de drones equipados con cámaras digitales ha llamado la atención de la comunidad forestal debido a su potencial para realizar inventarios forestales. Este estudio tiene como objetivo rellenar el hueco de conocimiento sobre la viabilidad de esta técnica para determinar parámetros dendrométricos en arbustos, comparándola con mediciones clásicas y TLS (*Terrestrial Laser Scanning*). Para la comparación se obtuvieron diferentes parámetros dendrométricos (altura total, perímetro, área, volumen) en 19 adelfas situadas en el dominio público hidráulico del río Palancia. La comparación efectuada no encontró diferencias estadísticamente significativas entre la medición clásica, TLS y UAV, existiendo una alta correlación entre técnicas en todos los parámetros analizados. El uso de imágenes derivadas de drones permite la obtención de estadísticos de forma masiva para grandes extensiones con un presupuesto reducido.

Palabras clave: Láser Escáner Terrestre (TLS), *Structure from Motion* (SfM), nube de puntos, RPAS / dron.

Comparison of measurements of Nerium oleander L. by classical measurements, Terrestrial Laser Scanner (TLS) and UAV-derived imagery

Abstract: The use of drones equipped with digital cameras has caught the attention of the forestry community due to its potential to conduct for forest inventories. The objective of this study is to fill the knowledge gap on the viability of this technique for determining dendrometric parameters in shrubs, comparing it with classical measurements and Terrestrial Laser Scanning (TLS). For the comparison, different metric parameters were obtained in 19 oleanders located in the public hydraulic domain of the river Palancia. The comparison did not reveal significant statistically differences between classical measurements, TLS and UAV, obtaining a high correlation between techniques in the parameters analysed. The use of UAV-derived imagery allows to obtain statistics massively for large tracts with a reduced budget.

Keywords: Terrestrial Laser Scanning (TLS), *Structure from Motion* (SfM), point cloud, unmanned aerial vehicle (UAV).

1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de nuevas tecnologías de medición forestal que permitan reducir los costes y tiempos, tanto en la toma como en el procesamiento de los datos, es un reto científico que está siendo ampliamente estudiado. La mejora en las técnicas y la optimización de los flujos de trabajo permitiría abarcar mayores áreas de estudio con menores presupuestos. En este sentido es especialmente relevante la reducción de costes para la obtención de datos en el estudio de tierras marginales, como las zonas de ribera de la cuenca mediterránea, cuyo aprovechamiento ofrece limitaciones por condicionantes naturales y legales, impidiendo su estudio en profundidad.

Las riberas de la cuenca mediterránea son el hábitat originario de la adelfa (*Nerium oleander* L.). Este arbusto perennifolio juega un importante rol ecológico en los paisajes áridos o semiáridos de las formaciones ribereñas. En el contexto del desarrollo sostenible y mitigación del cambio climático, las zonas arbustivas del área mediterránea desempeñan una importante labor en el ciclo del carbono. Para su estudio, es necesaria la realización de mediciones de las dimensiones arbustivas para estimar parámetros como la cantidad de carbono fijada o la biomasa, de forma no invasiva (Estornell et al., 2011).

En los últimos años, los sistemas LiDAR (*Light Detection And Ranging*) tanto aerotransportados (*Airborne Laser Scanning*, ALS) como terrestres (*Terrestrial Laser Scanning*, TLS) han sido utilizados para la obtención de la estructura arbustiva, debido a que su penetración en la cobertura vegetal permite estratificarla en altura (Ruiz et al., 2018). Ambos métodos destacan por su capacidad de adquirir información geoespacial tridimensional con alta densidad. A pesar de estas características, estos sistemas tienen un alto coste de instrumentación y de adquisición de datos, no siendo prácticos para pequeños proyectos con bajo presupuesto (Torralba et al., 2018).

Recientemente, los avances en vehículos aéreos no tripulados los han convertido en una alternativa para adquirir imágenes de alta resolución a bajo coste, ya que únicamente es necesario que sean equipados con una cámara de consumo para la realización de proyectos fotogramétricos, aunque éstos pueden ser equipados con sensores LiDAR, o cámaras multiespectrales. Además, los drones ofrecen la posibilidad de controlar los parámetros de vuelo y de adquisición de imagen, posibilitando la adquisición de imágenes con un cierto porcentaje de solape entre tomas. Si las imágenes son adquiridas con suficiente solape, pueden ser utilizadas para crear nubes de puntos tridimensionales o modelos planimétricos, a través de

algoritmos *Structure from Motion* (SfM). Estos algoritmos se basan en la identificación automática de puntos homólogos entre imágenes, para calcular en bloque la posición y orientación de las cámaras y obtener nubes de puntos 3D. Esta técnica se ha utilizado satisfactoriamente en masas arbóreas (Guerra-Hernández et al., 2017), teniendo como principal inconveniente la falta de penetración en la cobertura vegetal. Sin embargo, pocos estudios se han centrado en la caracterización y análisis de la vegetación arbustiva con esta tecnología. Estudios previos señalan que los errores más significativos en la nube de puntos UAV se detectan en las zonas arbustivas (Joswig et al., 2011). El objetivo de este trabajo es realizar una comparación entre diferentes métodos (medición clásica, TLS y UAV), a partir de los parámetros geométricos altura total (H_t), perímetro (P), área (A), volumen cónico (V_{co}), volumen de un semielipsoide de revolución (V_s), volumen semiesférico (V_e) y volumen calculado a partir de la triangulación de la nube de puntos (V_l) para determinar la viabilidad del uso de imágenes derivadas de drones en la realización de análisis dendrométricos en adelfas.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Zona de estudio y toma de datos

La zona de estudio comprende el dominio público hidráulico del río Palancia a su paso por la localidad de Estivella, en la provincia de Valencia. En esta zona ribereña predominan las especies *Arundo donax L.* y *Tamarix gallica L.*, junto con la especie de estudio *Nerium oleander L.*

Durante el mes de octubre de 2018 se llevaron a cabo los trabajos de campo, en los que se seleccionaron 19 adelfas distribuidas de forma aleatoria a lo largo del área de estudio. En ellas se midió la altura de forma clásica, realizando tres lecturas en cada individuo y el perímetro, midiéndose además la proyección máxima de cobertura de copa del arbusto.

2.2. Procesado de datos TLS

Los datos TLS se tomaron de forma simultánea utilizando un equipo FARO® Laser Scanner Focus3D X 330 HDR, con un rango operacional de 0,6 a 330 m, error sistemático de distancia de ± 2 mm, con un campo de visión vertical de 300° y horizontal de 360° , velocidad de medición hasta 976 000 puntos/s y un peso de 5,2 kg. Los criterios empleados para la toma de datos fueron los siguientes: se realizaron cinco escaneados por arbusto, con una distancia media de escaneado de 5 m desde el centro de la planta, de forma que se minimizara la oclusión para obtener una nube de puntos homogénea de cada adelfa. Posteriormente, en gabinete las nubes de puntos tomadas fueron registradas utilizando el software Faro Scene®. A partir de las nubes de puntos obtenidas se realizó un fichero de polígonos *shapefile* de forma manual para delimitar individualmente las adelfas. Para la obtención de parámetros se desarrolló un software propio llamado PointCloudOOP (disponible en <https://github.com/juacarr/PointCloudOOP>) con el objetivo de automatizar el proceso de generación de parámetros a partir de nubes de

puntos. Este programa hace uso de LAStools (Isenburg, 2018) y Fusion/LDV. Para su ejecución, PointCloudOOP utiliza como datos de entrada el fichero de la nube de puntos en formato .LAS o .LAZ, y un fichero de polígonos con los individuos a estudiar, en formato *shapefile*. A partir de estos ficheros se realiza un recorte para obtener una nube de puntos por cada individuo, aplicándose un *buffer* para ampliar la zona de estudio, de forma que se incremente en un radio de 25 m desde la envolvente que define la planta. Este proceso se realiza para obtener un Modelo Digital de Superficies (MDS) y un Modelo Digital del Terreno (MDT) de toda el área que rodea a la adelfa, y no únicamente de los puntos de terreno bajo la planta. A continuación, se realiza un filtrado de la nube con el objetivo de eliminar puntos anómalos y vegetación alrededor de cada individuo, teniendo como resultado el MDS de forma individualizada. El flujo continúa obteniendo el MDT a partir de los puntos clasificados como suelo. Finalmente se normalizan las alturas de todas las nubes de puntos extraídas y se vuelven a recortar utilizando de nuevo el fichero de polígonos *shapefile*. Por último, a partir de las nubes de puntos normalizadas e individualizadas se obtienen los parámetros. Este proceso se resume en la figura 1.

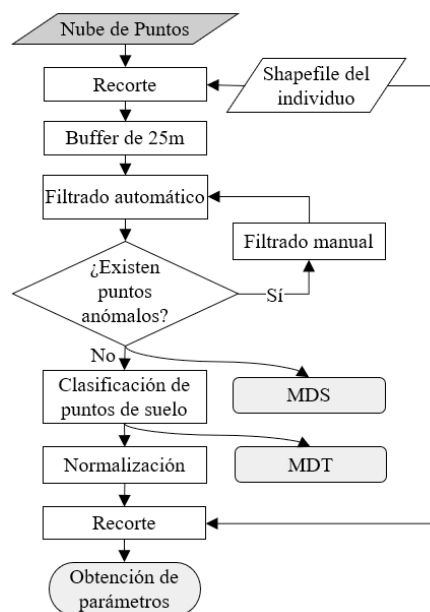


Figura 1. Flujo de trabajo de PointCloudOOP.

2.3. Procesado de datos UAV

El vuelo dron fue realizado simultáneamente a la adquisición de datos en campo utilizando un UAV ATyges FV8, octocóptero, con un peso de 3,5 kg, y un tiempo de vuelo máximo de 20 minutos. Este dron fue equipado con una cámara Sony A5000, la cual posee un sensor CMOS (23,2×15,4 mm) de 20,1 MP de resolución. Para la toma de imágenes aéreas se realizaron 7 vuelos con un total de 1253 imágenes tomadas de forma cenital. Así mismo, para la toma de los puntos de control de terreno se utilizaron dos modelos GPS diferenciales, Leica Viva GS16 y Topcon GR-5, tomándose 262 puntos en la zona de estudio.

El proceso fotogramétrico se llevó a cabo utilizando el software Pix4D® versión 4.3.31, obteniendo una nube

con 2 679 342 097 puntos y un error medio cuadrático (RMSE) de 0,016 m. Seguidamente, se utilizó el software PointCloudOOP para obtener los parámetros.

2.4. Obtención de parámetros

A partir de las mediciones de perímetro realizadas en campo se calculó el radio de cada individuo aproximando el perímetro a un círculo. Utilizando el radio y el parámetro H_p , se calculó el volumen que ocuparía la adelfa si su forma se aproximara a los diferentes cuerpos de revolución estudiados: cono, semielipsoide y semiesfera.

Los parámetros de las nubes de puntos, tanto de UAV como de TLS se obtuvieron de forma automatizada, calculando los volúmenes aproximados a las figuras geométricas a partir de la altura total de cada adelfa y del perímetro. Éste se obtuvo a partir de la proyección máxima de cobertura de copa del arbusto. Para la obtención de la malla TLS y UAV, así como el cálculo de su volumen, se utilizó el software 3DReshaper[®]. La figura 2 muestra las mallas obtenidas para una adelfa.

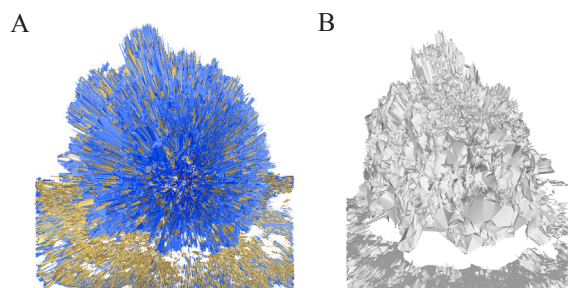


Figura 2. Triangulación de la nube de puntos TLS (A) junto con triangulación de la nube de puntos UAV (B).

La relación entre parámetros obtenidos por diferentes técnicas se evaluó mediante el coeficiente de determinación (R^2) y la raíz del error cuadrático medio (RMSE). Para la realización de la comparación entre métodos se realizó un estudio de media y desviación típica de los parámetros estudiados. Por último, se realizó una prueba de Shapiro-Wilk para estudiar la normalidad de las diferencias entre parámetros por cada técnica. Si la hipótesis nula era aceptada, es decir, las muestras extraídas seguían una distribución normal, se aplicaba la prueba t-Student de muestras pareadas, si era rechazada, se aplicaba la prueba de la U de Mann-Whitney-Wilcoxon. Ambas pruebas se aplicaron con un nivel de significación de 0,05.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como se puede observar en la tabla 1, los valores de media y desviación típica son similares entre técnicas. Destacar la similitud entre las medidas de UAV y TLS en parámetros como la H_t donde encontramos una diferencia del 5% en la media estadística. En esta comparativa, únicamente es significativa la diferencia encontrada en el promedio del parámetro V_p , al ser sobreestimado este volumen en un 29,8% por las medidas UAV respecto a las TLS.

Profundizando en el estudio de los estadísticos volumétricos, se observa que la nube de puntos UAV tiende a sobreestimar la volumetría, en comparación con la nube

obtenida por TLS, debido principalmente a la falta de puntos en los flancos laterales inferiores de las adelfas (Figura 3).

Tabla 1. Media y desviación típica de los parámetros.

Parámetro	Clásica	UAV	TLS
H_t (m)	2,10±0,64	2,08±0,79	2,19±0,67
P (m)	7,98±2,83	8,67±3,92	9,14±2,93
A (m ²)	5,15±3,68	6,35±5,49	6,77±4,39
V_s (m ³)	9,36±8,88	12,14±15,39	12,50±11,61
V_{co} (m ³)	4,68±4,44	6,39±7,77	6,25±5,81
V_e (m ³)	5,61±5,87	8,93±10,97	8,43±7,79
V_t (m ³)	-	6,71±7,68	4,71±4,54

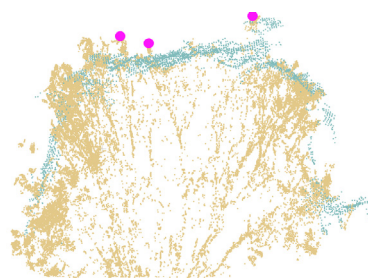


Figura 3. Perfil de una adelfa a partir de mediciones UAV (aguamarina), TLS (arena) y clásica (púrpura).

Comparando las medias de los diferentes parámetros obtenidos a partir de las técnicas UAV y TLS, y la técnica clásica, la diferencia máxima se obtuvo en la media del parámetro V_e , donde los datos TLS y UAV sobreestiman el volumen frente a la técnica clásica en un 33,4% y 37,2%, respectivamente. Por otro lado, destaca la alta dispersión, indistintamente de la técnica utilizada, en las medidas del volumen de los diferentes ejemplares de *Nerium oleander*, debido a la gran diferencia de porte entre los individuos estudiados.

En las pruebas de Shapiro-Wilk, t-Student y U de Mann-Whitney-Wilcoxon realizadas, no se observan diferencias estadísticamente significativas, obteniéndose valores-P mayores de 0,05.

Las tres técnicas propuestas obtuvieron una alta correlación y un reducido RMSE entre sí para los parámetros H_p , P y A, como puede observarse en la tabla 2. De la misma forma, se comprueba que existe una alta correlación entre los parámetros volumétricos V_{co} , V_s , V_e y V_t , aunque contrariamente estos presentan un RMSE más elevado. No obstante, a partir de la alta correlación entre medidas volumétricas se deduce que esta sobreestimación es linealmente proporcional, y por tanto estimable.

En la comparación de las mediciones UAV y TLS con la medición clásica, es destacable como en las medidas H_p , P y A, el TLS obtiene una mayor correlación y un menor RMSE que las medidas UAV, aunque con pequeñas diferencias. Estas diferencias se ven incrementadas en las medidas volumétricas, donde la comparación UAV con los datos clásicos obtiene una media de 0,88 de R^2 y un RMSE de 6,31 m³, estos datos son mejorados en la comparación entre TLS y clásica a una media de 0,97 de R^2 y 2,33 m³ de RMSE. Son destacables los ajustes realizados entre las técnicas UAV y TLS, con un R^2 0,98 en las medidas de volumen obtenido a partir de la triangulación de las nubes de puntos (Tabla 2).

Tabla 2. Modelos lineales obtenidos entre los parámetros altura total (H_t), perímetro (P), área (A), volumen de un semielipsoide de revolución (V_s), volumen cónico (V_{co}), volumen semiesférico (V_e) y volumen calculado a partir de la triangulación de la nube de puntos (V_t) y las técnicas clásica, UAV y TLS para *Nerium oleander* L.

Parámetro		Clásica-UAV	Clásica-TLS	UAV-TLS
H_t (m)	Ecuación	$H_{t-Clásica} = 0,7727 * H_{t-UAV} + 0,4929$	$H_{t-Clásica} = 0,9336 * H_{t-TLS} + 0,0574$	$H_{t-TLS} = 0,8148 * H_{t-UAV} + 0,4932$
	R ² RMSE	0,92 0,25	0,95 0,17	0,94 0,24
P (m)	Ecuación	$P_{Clásica} = 0,6858 * P_{UAV} + 2,031$	$P_{Clásica} = 0,9453 * P_{TLS} - 0,6656$	$P_{TLS} = 0,7241 * P_{UAV} + 2,8642$
	R ² RMSE	0,90 1,63	0,96 1,31	0,94 1,35
A (m ²)	Ecuación	$A_{Clásica} = 0,6346 * A_{UAV} + 1,1274$	$A_{Clásica} = 0,8256 * A_{TLS} - 0,4383$	$A_{TLS} = 0,7744 * A_{UAV} + 1,8745$
	R ² RMSE	0,90 2,56	0,97 1,88	0,94 1,64
V_s (m ³)	Ecuación	$V_{s-Clásica} = 0,5385 * V_{s-UAV} + 2,4811$	$V_{s-Clásica} = 0,7527 * V_{s-TLS} - 0,0485$	$V_{s-TLS} = 0,7298 * V_{s-UAV} + 3,1765$
	R ² RMSE	0,89 8,29	0,97 1,45	0,95 7,87
V_{co} (m ³)	Ecuación	$V_{co-Clásica} = 0,5385 * V_{co-UAV} + 1,2406$	$V_{co-Clásica} = 0,7527 * V_{co-TLS} - 0,0243$	$V_{co-TLS} = 0,7298 * V_{co-UAV} + 1,5883$
	R ² RMSE	0,89 4,14	0,97 2,22	0,95 2,39
V_e (m ³)	Ecuación	$V_{e-Clásica} = 0,4985 * V_{e-UAV} + 1,447$	$V_{e-Clásica} = 0,7433 * V_{e-TLS} - 0,364$	$V_{e-TLS} = 0,6804 * V_{e-UAV} + 2,3486$
	R ² RMSE	0,86 6,50	0,97 3,33	0,92 4,08
V_t (m ³)	Ecuación	-	-	$V_{t-TLS} = 0,5854 * V_{t-UAV} + 0,7853$
	R ² RMSE	-	-	0,98 3,74

En la comparación de las nubes de puntos UAV y TLS con los datos clásicos, se comprueba que los parámetros derivados del TLS se ajustan mejor a los obtenidos por medición clásica que las mediciones derivadas de los UAV. La falta de información en la parte inferior de la cobertura vegetal, por parte los datos UAV, influye negativamente en la estimación de parámetros como el perímetro circundante, afectando al cálculo volumétrico. A este respecto, para obtener una estimación precisa del volumen de plantas arbustivas es necesario obtener información de la estructura vertical de los individuos.

4. CONCLUSIONES

La evaluación de parámetros obtenidos entre los diferentes métodos sugiere que la metodología seguida en este estudio es fiable, permitiendo realizar mediciones de la nube de puntos UAV para estimar variables dendrométricas de *Nerium oleander*. No obstante, para trabajos futuros se propone la realización de tomas oblicuas en la fase de vuelo, con el objetivo de obtener información de la cobertura lateral inferior de los individuos a analizar.

En comparación, las mediciones TLS ofrecen una precisión ligeramente mayor en la obtención de los parámetros arbustivos analizados, por el contrario, este método tiene un alto coste instrumental y técnico, que se incrementa en proyectos que abarquen grandes áreas de estudio. Los algoritmos SfM aplicados conjuntamente en plataformas aerotransportadas abren las puertas al desarrollo de estudios forestales no abarcables mediante la utilización de otros métodos, como la medición clásica o el TLS.

5. AGRADECIMIENTOS

Esta investigación se ha llevado a cabo en el marco de proyecto Desarrollo de métodos de cuantificación de biomasa de vegetación riparia para la gestión de cauces de la Comunidad Valenciana (AICO/2017/047), financiado por la Generalitat Valenciana. Igualmente, la financiación de este trabajo ha sido aportada por el Ministerio de Economía, Industria y Competitividad: beca de Formación de Personal Investigador BES-2017-081920, asociada al

proyecto FIRMACARTO (CGL2016-80705-R), financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad y el FEDER.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Estornell, J., Ruiz, L.A., Velázquez-Martí, B., Fernández-Sarría, A. 2011. Estimation of shrub biomass by airborne LiDAR data in small forest stands. *Forest Ecology and Management*, 262, 1697-1703.
- Guerra-Hernández, J., González-Ferreiro, E., Monleón, V., Faias, S., Tomé, M., Díaz-Varela, R. 2017. Use of Multi-Temporal UAV-Derived Imagery for Estimating Individual Tree Growth in Pinus pinea Stands. *Forests*, 8, 300.
- Isenburg, M. 2018. LAStools - Efficient tools for LiDAR processing. (Version 180409) obtained from <http://rapidlasso.com/LAStools>.
- Joswig, M., James, M.R., Travelletti, J., Niethammer, U., Rothmund, S. 2011. UAV-based remote sensing of the Super-Sauze landslide: Evaluation and results. *Engineering Geology*, 128, 2-11.
- Ruiz, L.Á., Recio, J.A., Crespo-Peremarch, P., Sapena, M. 2018. An object-based approach for mapping forest structural types based on low-density LiDAR and multispectral imagery. *Geocarto International*, 33, 443-457.
- Torralba, J., Crespo-Peremarch, P., Ruiz, L. 2018. Assessing the use of discrete, full-waveform LiDAR and TLS to classify Mediterranean forest species composition. *Revista de Teledetección*, 0(52), 27-40.