

## Comparación de biomasa estimada a partir de mediciones clásicas y nubes de puntos UAV clasificadas mediante *Class3Dp*

Juan Pedro Carbonell-Rivera<sup>(1)</sup>, Luis Á. Ruiz<sup>(1)</sup>, Javier Estornell<sup>(1)</sup>, Marina Simó-Martí<sup>(1)</sup>,  
Javier Quille-Mamani<sup>(1)</sup>, Jesús Torralba<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup>Grupo de Cartografía GeoAmbiental y Teledetección, Universitat Politècnica de València, Camí de Vera s/n, 46022, Valencia, España. juacarri@upv.es, jetorpe@upv.es, jaescre@cgf.upv.es, laruiz@cgf.upv.es

**Resumen:** La cuantificación precisa de la biomasa vegetal es esencial para la gestión ambiental y la respuesta al cambio climático en ecosistemas terrestres. Este estudio aborda la comparación entre mediciones tradicionales y mediciones derivadas de nubes de puntos fotogramétricas obtenidas con vehículos aéreos no tripulados (UAV). La investigación se llevó a cabo en el Parque Natural de la Sierra Calderona, donde se realizaron diferentes vuelos con un dron equipado con una cámara RGB. El procesamiento de datos UAV involucró la generación de nubes de puntos, normalización de alturas, clasificación y segmentación. Para la normalización, se realizó una clasificación de puntos del suelo con el software *Class3Dp*, obteniendo una precisión de validación cruzada de 0.92. Posteriormente, se clasificó la nube de puntos con el mismo software en base a las especies predominantes (*Cistus albidus*, *Juniperus oxycedrus*, *Quercus coccifera* y *Q. ilex*). Esta clasificación obtuvo una fiabilidad por validación cruzada de 0.86. Tras la clasificación, se realizó una segmentación de la nube de puntos, obteniendo la altura, ancho y largo de cada individuo. Por otro lado, estas tres variables también se obtuvieron en campo mediante medición clásica, pudiendo aplicar ecuaciones alométricas específicas de cada especie. La comparación de la biomasa estimada por especie y por parcela entre mediciones tradicionales y UAV reveló que la estimación de biomasa con ambas técnicas es similar, aunque se detectó un mayor recuento de individuos en las mediciones UAV. Los valores de biomasa calculados a partir de datos UAV ofrecen información de detalle a nivel individual en zonas con alto interés medioambiental, pudiendo obtener mapas detallados de individuos, especies y volumetrías. Esta tecnología destaca en términos de precisión y eficiencia en comparación con los métodos tradicionales, abriendo nuevas posibilidades para la realización de estudios forestales más extensos y precisos con un menor coste económico y temporal.

**Palabras clave:** matorral mediterráneo, nubes de puntos fotogramétricas, clasificación supervisada, class3dp, ecuaciones alométricas.

### **High altitude perspectives: Comparison of biomass estimated from classical measurements and UAV point clouds classified using *Class3Dp***

**Abstract:** Accurate quantification of plant biomass is essential for environmental management and climate change response in terrestrial ecosystems. This study addresses the comparison between traditional measurements and measurements derived from photogrammetric point clouds obtained with unmanned aerial vehicles (UAV). The research was carried out in the Sierra Calderona Natural Park, where different flights were performed with a drone equipped with an RGB camera. UAV data processing involved point cloud generation, height normalization, classification and segmentation. For normalization, ground point classification was performed with *Class3Dp* software, obtaining a cross-validation accuracy of 0.92. Subsequently, the point cloud was classified with the same software based on the predominant species (*Cistus albidus*, *Juniperus oxycedrus*, *Quercus coccifera* and *Q. ilex*). This classification obtained a cross-validation reliability of 0.86. After the classification, a segmentation of the point cloud was performed, obtaining the height, width and length of each individual. On the other hand, these three variables were also obtained in the field by classical measurement, being able to apply allometric equations specific to each species. The comparison of the estimated biomass per species and per plot between traditional and UAV measurements revealed that the biomass estimation with both techniques is similar, although a higher count of individuals was detected in the UAV measurements. Biomass values calculated from UAV data provide detailed information at the individual level in areas of high environmental interest, being able to obtain detailed maps of individuals, species and volumetrics. This technology stands out in terms of accuracy and efficiency compared to traditional methods, opening new possibilities for more extensive and accurate forest surveys at a lower economic and temporal cost.

**Keywords:** mediterranean scrub, photogrammetric point clouds, supervised classification, class3dp, allometric equations.

## 1. INTRODUCCIÓN

En la investigación de los ecosistemas terrestres, la cuantificación precisa de la biomasa vegetal es un pilar fundamental, no solo para la gestión ambiental sino también para abordar los desafíos del cambio climático (Casals *et al.*, 2016). La biomasa, indicador clave de la salud del ecosistema, es esencial para una correcta gestión

de los recursos naturales y la monitorización del cambio del ecosistema (Paton *et al.*, 2002). Tradicionalmente, la obtención de esta variable ha dependido de mediciones destructivas o estimaciones no destructivas aplicando ecuaciones alométricas, que relacionan las dimensiones de las plantas con su biomasa (Castro *et al.*, 1996).

En la última década, se han utilizado las imágenes obtenidas a partir de vehículos aéreos no tripulados (UAV)

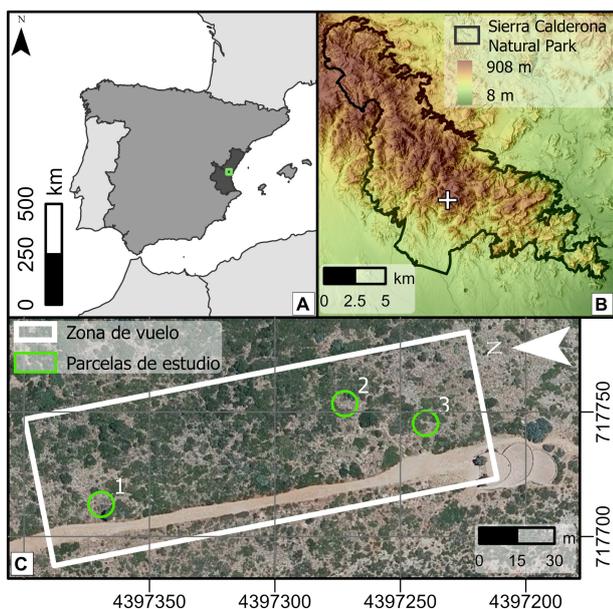
para la estimación de las alturas, volúmenes y otras medidas de árboles y plantas a partir de las nubes de puntos fotogramétricas generadas. Pero a pesar de las ventajas que ofrece esta tecnología, el tratamiento de las nubes de puntos es complejo, haciendo necesario el uso de software específico. En este sentido, *Class3Dp* (Carbonell-Rivera et al., 2024) ha sido desarrollado para la clasificación supervisada de nubes de puntos, permitiendo la clasificación de especies vegetales a partir de variables geométricas y espectrales. A partir de este software es posible obtener una nube de puntos clasificada, en la que es posible la medición de las dimensiones de los individuos, permitiendo estimar la biomasa aplicando ecuaciones alométricas.

Este artículo tiene como objetivo analizar las diferencias en la estimación de biomasa entre mediciones clásicas y mediciones obtenidas a partir de nubes de puntos fotogramétricas UAV clasificadas y segmentadas.

## 2. MATERIAL Y MÉTODOS

### 2.1. Zona de estudio y toma de datos

La zona de estudio cubre un área de 1.08 ha y está localizada en el Parque Natural de la Sierra Calderona, situado al este de la península Ibérica, entre las provincias de Valencia y Castellón (Figura 1). El área de estudio se encuentra caracterizado por una densidad arbustiva elevada, formando un estrato de vegetación horizontal prácticamente continuo, donde las diferentes especies se mezclan sin superar los 150 cm de altura y sin presencia de cobertura arbórea. Las especies arbustivas predominantes son tres: *Cistus albidus* L., *Juniperus oxycedrus* L. y *Quercus coccifera* L., encontrando una única especie arbórea *Quercus ilex* L., cuyos individuos poseen actualmente un porte arbustivo.



**Figura 1.** Ubicación del parque natural Sierra Calderona (A y B), junto con la zona de vuelo y las parcelas de estudio ©.

Los trabajos de campo se llevaron a cabo en junio de 2022, realizando una campaña de toma de datos UAV y un inventario tradicional en tres parcelas circulares de

5 metros de radio, elegidas basándonos en criterios de biodiversidad, representatividad y accesibilidad.

En el inventario de campo tradicional, se midieron la altura máxima, longitud y ancho de 130 individuos empleando un flexómetro, y la orientación con respecto al norte magnético mediante brújula. Además, también se tomaron la especie y ubicación de los individuos mediante GNSS (Sistema Global de Navegación por Satélite) utilizando un receptor Leica Zeno FLX100, conectado a la red geodésica de estaciones de referencia de Valencia (ERVA) para obtener correcciones diferenciales mediante estación de referencia virtual (VRS) con solución cinemática en tiempo real (RTK). Utilizando esta solución obtenemos una precisión de  $\pm(2 \text{ cm} + 1 \text{ ppm})$  en horizontal y  $\pm(3 \text{ cm} + 1 \text{ ppm})$  en vertical.

La toma de datos UAV se realizó con un dron DJI Inspire 2 equipado con una cámara DJI Zenmuse Z5S. Esta cámara posee un sensor CMOS (3") de 20.8 MP de resolución con una distancia focal de 15 mm, lo que le otorga un tamaño de píxel de  $3.4 \mu\text{m}$ . Se realizaron dos vuelos abarcando la misma zona de estudio. El primer vuelo se realizó siguiendo un patrón de doble cuadrícula, a una altura de 60 metros y con un ángulo de la cámara de  $60^\circ$ . El solapamiento frontal fue de 80%, mientras que el solapamiento lateral fue 85%. El segundo vuelo siguió un patrón paralelo, volando a una altura de 120 metros con la cámara en posición cenital ( $90^\circ$ ), utilizando los mismos solapamientos que en el vuelo anterior. El objetivo de realizar dos vuelos con diferentes parámetros para la misma zona de vuelo fue reducir las sombras sobre el modelo y mitigar la deformación del modelo durante el proceso de autocalibración. Estos vuelos se realizaron cerca del mediodía solar para minimizar las sombras, bajo condiciones meteorológicas de sol y sin viento. Los vuelos tuvieron una duración de 21 minutos en los que se tomaron un total de 269 imágenes cubriendo un área de 3.39 ha.

Previamente a los vuelos, se distribuyeron 9 puntos de control en terreno (GPC, por sus siglas en inglés) a lo largo de la zona de estudio. Los GPC se distribuyeron homogéneamente por los bordes de la zona de vuelo y de forma estratificada en las áreas centrales y zonas de máximo cambio de pendiente. Estos GPC fueron geolocalizados utilizando el receptor GNSS Zeno FLX100.

### 2.2. Procesado de datos UAV

Tras la adquisición de datos mediante UAV, se llevó a cabo el procedimiento fotogramétrico de obtención de las nubes de puntos, utilizando Agisoft Metashape 2.0.2. En este software se realizaron los pasos de alineamiento de las imágenes (parámetro *Accuracy* con el valor *Highest*, *Key point limit* con un valor de 40000 y *Tie point limit* con un valor de 4000) y densificación de la nube de puntos (*Quality* con el valor *Ultra high* y *Depth filtering* con el valor *Mild*), obteniendo una nube de puntos densificada de la zona de estudio. Esta nube de puntos fue recortada a las parcelas de estudio.

A continuación, para obtener las alturas de la vegetación, se procedió a la normalización de las alturas de la nube de puntos. Este proceso se dividió en tres etapas: clasificación de los puntos del terreno, creación de un modelo

digital del terreno (MDT) y reducción de las alturas a nivel cero. La clasificación de los puntos del terreno se realizó utilizando el software de clasificación supervisada de nubes de puntos *Class3Dp* (Carbonell-Rivera *et al.*, 2024), tomando muestras de puntos de las clases suelo y vegetación de forma manual, desactivando el cálculo de las variables extraídas de la componente Z y seleccionando como método de clasificación *Gradient Boosting*, mientras que la generación del MDT y la normalización de alturas se realizaron con el software *LAStools* (versión 230212).

Para llevar a cabo la clasificación de la nube de puntos por especies, realizamos una clasificación supervisada de la nube de puntos utilizando de nuevo *Class3Dp*. Las muestras de entrenamiento utilizadas para ajustar el modelo fueron extraídas de los datos de geolocalización y especie de los individuos que tomamos en campo. A estos puntos geolocalizados se les aplicó un buffer planimétrico de 30 cm, siendo este valor el radio mínimo de los individuos más pequeños identificados. El polígono resultante se utilizó para recortar la nube de puntos. Una vez obtenidas las muestras para cada clase, se realizó un proceso de filtrado manual para evitar la introducción de valores atípicos en las muestras de entrenamiento. Para crear el modelo, se evaluaron los métodos de *machine learning: DecisionTree, Extra Trees, Gradient Boosting y Random Forest*, así como el método de *deep learning MultiLayer Perceptron*, optimizando sus hiperparámetros. Los modelos se evaluaron mediante validación cruzada de 10 pliegues. Tras obtener el modelo que mejor se ajustaba a las muestras de entrenamiento y predecir la clase de cada punto, se redujo la elevada heterogeneidad espacial de la nube de puntos clasificada realizando una segmentación geométrica de la nube de puntos basada en el algoritmo de Li (Li *et al.*, 2012), asignando posteriormente a cada segmento la moda de la clasificación de los puntos que lo integran (Xie *et al.*, 2020). Tras la clasificación y segmentación de la nube de puntos, se ajustó al contorno de cada segmento una elipse, de forma que se obtuvo el largo y el ancho de cada segmento, así como su altura media. De esta forma, las dimensiones obtenidas a partir del UAV son comparables a las tomadas mediante técnicas tradicionales, permitiendo la estimación de la biomasa a partir de ecuaciones alométricas (Tabla 1).

Tabla 1. Ecuaciones alométricas de las especies estudiadas.

Especie	Ecuación	Referencia
<i>Cistus albidus</i>	$B=1909.853 \cdot (V_{\text{Biovolume}})^{0.859}$	(Castro <i>et al.</i> , 1996)
<i>Juniperus oxycedrus</i>	$\log(B)=1.87+0.70 \cdot \log(V_{\text{Conus}})$	(Paton <i>et al.</i> , 2002)
<i>Quercus coccifera</i>	$\log(B)=3.55+0.57 \cdot \log(V_{\text{Conus}})$	(Paton <i>et al.</i> , 2002)
<i>Quercus ilex</i>	$B=2064+0.762 \cdot V_{\text{Biovolume}}$	(Casals <i>et al.</i> , 2016)

### 2.3. Procesado de datos tradicionales

A partir de los datos recogidos en el campo, se estimó la biomasa de cada individuo aplicando las ecuaciones alométricas anteriormente descritas. Las ecuaciones alométricas son específicas para cada especie, habiendo sido

generadas a partir de muestras en zonas mediterráneas similares a las de este estudio. Para obtener la biomasa se creó un script en *Python* en el que se aplicó a cada individuo la ecuación alométrica específica (Tabla 1) basada en las medidas tradicionales de porte realizadas en campo.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La nube de puntos generada estaba compuesta por un total de 403 268 538 puntos, con una densidad de 3992.7 puntos·m<sup>-2</sup>. Su error posicional se estimó mediante el error cuadrático medio (RMSE) entre los GCP y la posición del punto 3D estimado, siendo de 7.6 cm.

La clasificación entre puntos del suelo y vegetación obtuvo una fiabilidad media por validación cruzada de 0.92, con una desviación estándar de 0.07 utilizando *Gradient Boosting*. Los errores se detectaron principalmente en puntos clasificados como vegetación que pertenecían a la clase suelo, localizados en las interfaces entre la vegetación y el terreno. Esto se debió a que se realizó una selección de muestras conservadora, con el objetivo de no eliminar puntos de vegetación clasificados erróneamente como suelo.

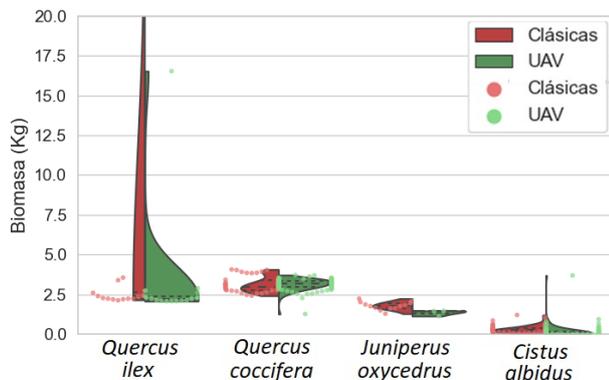
En la clasificación por especie el modelo que obtuvo los mejores estadísticas fue *Gradient Boosting*, obteniendo una fiabilidad media en los 10 pliegues de validación cruzada de 0.86, con una desviación típica de 0.11. Analizando la matriz de confusión generada (Figura 2), podemos conocer el análisis de rendimiento del modelo de clasificación en las diferentes especies estudiadas *Cistus albidus* (1), *Juniperus oxycedrus* (2), *Q. coccifera* (3) y *Q. ilex* (4).

		Clasificación			
		1	2	3	4
Referencia	<i>Cistus albidus</i>	5,699	11	422	34
	<i>Juniperus oxycedrus</i>	111	2,374	225	81
	<i>Quercus coccifera</i>	681	369	3,739	173
	<i>Quercus ilex</i>	454	55	134	5,741
	Pr	0.821	0.845	0.827	0.952
	Re	0.924	0.851	0.754	0.899
	Fm	0.869	0.848	0.789	0.925
Precisión global		0.865			

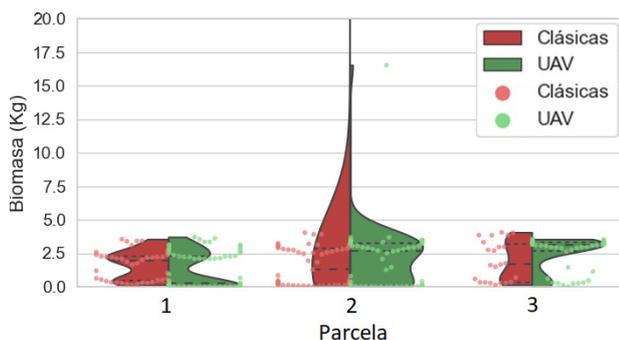
Figura 2. Matriz de confusión de la clasificación, analizándose el número de puntos evaluados.

En términos de precisión (Pr) destaca el 82.1% para *Cistus albidus* y su 92.4% de sensibilidad. La clase *Juniperus oxycedrus* muestra un 84.5% de precisión y 85.1% de sensibilidad. Para *Q. coccifera*, la precisión es del 82.7%, con una sensibilidad del 75.4%. *Q. ilex* alcanza una alta precisión del 95.2%. El F1-score (Fm) refleja que existe equilibrio entre precisión y sensibilidad en todas las clases. Por último, la fiabilidad global del modelo es del 86.5%, indicando un rendimiento general adecuado. Los resultados obtenidos son destacables debido al reducido número de especies predominantes en la zona de estudio. Un aumento del número de especies o su similitud geométrica y espectral en el RGB podría hacer necesario el aumento

de la resolución espectral de la nube de puntos a clasificar. En este sentido, *Class3Dp* permite la clasificación de nubes de puntos multiespectrales, por lo que únicamente sería necesario la toma de imágenes UAV con una cámara multiespectral. La comparación por especie entre los resultados obtenidos mediante técnicas clásicas y UAV, puede visualizarse en la Figura 3, representándose por parcela en la Figura 4.



**Figura 3.** Gráfico de violín y biomasa estimada para cada individuo por especie para las mediciones clásicas y UAV.



**Figura 4.** Gráfico de violín y biomasa estimada para cada individuo por parcela para las mediciones clásicas y UAV.

Ambas figuras revelan una similitud en la estimación de biomasa, ya sea utilizando la metodología clásica o la tecnología UAV. No obstante, destaca el hecho de que en las mediciones con UAV se registra un mayor número de individuos. Este fenómeno es debido a la complejidad de identificar individuos en campo. A la hora de realizar las mediciones clásicas, si existía un conjunto de individuos de la misma especie sin una separación física evidente, este conjunto se consideraba como un único individuo, debido a la dificultad de medir cada miembro del conjunto. La segmentación de la nube de puntos en las mediciones con UAV separa este tipo de conjuntos, lo que resulta en un mayor recuento de individuos en el análisis.

#### 4. CONCLUSIONES

La metodología aplicada en este trabajo ha permitido la estimación de biomasa aérea mediante UAV a nivel de individuo en una zona de alto valor ecológico. Esta metodología permite obtener mapas de individuos, especies y volumetrías, lo que puede derivar en la obtención de otras variables a partir de ecuaciones alométricas como es la estimación de carbono o la masa combustible. En

trabajos futuros, se ampliarán las variables estudiadas, así como el área de estudio para conocer el comportamiento de esta metodología en zonas con mayor biodiversidad y heterogeneidad.

La aplicación de ecuaciones alométricas a partir de mediciones tradicionales implica un alto coste instrumental y técnico, incrementándose en proyectos que abarquen grandes áreas de estudio. La utilización de UAV abre las puertas al desarrollo de estudios forestales con mayor eficiencia que los métodos clásicos.

#### 5. AGRADECIMIENTOS

La financiación ha sido aportada por la ayuda BES-2017-081920 y el proyecto de I+D+i PID2020-117808RB-C21 financiados por MCIN/AEI/10.13039/501100011033 y por “FSE Invierte en tu futuro”.

#### 6. BIBLIOGRAFÍA

- Carbonell-Rivera, J.P., Estornell, J., Ruiz, L.Á., Crespo-Peremarch, P., Almonacid-Caballer, J., Torralba, J. (2024). Class3Dp: A supervised classifier of vegetation species from point clouds. *Environmental Modelling & Software*, 171, 105859. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2023.105859>
- Casals, P., Valor, T., Besalú, A., Molina-Terrén, D. (2016). Understory fuel load and structure eight to nine years after prescribed burning in Mediterranean pine forests. *Forest Ecology and Management*, 362, 156-168. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.11.050>
- Castro, I., Casado, M.Á., Ramírez-Sanz, L., Miguel, J.M. de, Costa, M., Díaz Pineda, F. (1996). Funciones de estimación de la biomasa aérea de varias especies del matorral mediterráneo del centro de la península Ibérica. *Orsis*, 11, 107-116.
- Li, W., Guo, Q., Jakubowski, M.K., Kelly, M. (2012). A new method for segmenting individual trees from the lidar point cloud. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 78, 75-84. <https://doi.org/10.14358/PERS.78.1.75>
- Paton, D., Nuñez, J., Bao, D., Muñoz, A. (2002). Forage biomass of 22 shrub species from Monfragüe Natural Park (SW Spain) assessed by log-log regression models. *Journal of Arid Environments*, 52, 223-231. <https://doi.org/10.1006/jare.2001.0993>
- Xie, Y., Tian, J., Zhu, X.X. (2020). Linking points with labels in 3D: A review of point cloud semantic segmentation. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*, 8, 38-59. <https://doi.org/10.1109/MGRS.2019.2937630>