

# Aplicación del LiDAR full-waveform en la modelización de propiedades de combustibilidad de la cubierta arbórea y el sotobosque

**Palabras clave:** full-waveform; estructura forestal; sotobosque; combustibilidad

\*Ruiz, Luis A.<sup>1</sup>

Crespo-Peremarch, Pablo<sup>1</sup>

Torralba, Jesús<sup>1</sup>

- <sup>1</sup> Grupo de Cartografía GeoAmbiental y Teledetección (CGAT)  
Universitat Politècnica de València, Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia.  
\*Correo electrónico: [laruiz@upv.es](mailto:laruiz@upv.es)

## Resumen

El LiDAR discreto se ha utilizado con éxito en la estimación de variables de combustibilidad en diversos tipos de ecosistemas forestales, tanto mediterráneos (Riaño et al., 2003) como templados (Andersen et al., 2005). Entre las variables obtenidas destacan la altura de copa (CH), la carga combustible (CFL) o la altura de la base de copa (CBH), que se emplean como datos de entrada en los modelos de comportamiento del fuego (FARSITE, BehavePlus, etc.). Sin embargo, en determinados ecosistemas, la presencia de matorral y sotobosque es determinante no sólo como masa combustible en sí misma, sino también por su capacidad de propagación del fuego desde el suelo hasta las copas de los árboles, facilitando así los grandes incendios que se propagan a través de las copas, una vez iniciados (Kramer et al., 2014). Los sistemas LiDAR *full-waveform* aéreos registran la onda de energía completa recibida por el sensor tras interactuar con la cubierta vegetal, posibilitando un análisis más completo de la estructura forestal y proporcionando mayor sensibilidad para la caracterización de vegetación ocluida bajo la cubierta arbórea, como es el sotobosque. Sin embargo, una gran limitación para su uso es la escasez de herramientas estándar capaces de procesar estos datos, por su complejidad y tamaño.

Los objetivos de este estudio fueron, por un lado, evaluar la capacidad de los datos LiDAR *full-waveform* en la estimación de variables de combustibilidad; por otro, la evaluación de métricas específicas *full-waveform* en la predicción de volumen, cobertura, alturas media y máxima del sotobosque. En una zona de ensayos de 3.700 ha en la Sierra de Espadán (Castellón), con *Pinus pinaster* y *P. halepensis* como especies dominantes y presencia heterogénea de matorral, se realizó un inventario en campo de 80 parcelas de 15 m de radio registradas con un receptor GPS RTK, al tiempo que se sobrevoló la zona con un sensor *full-waveform* LiteMapper 6800 obteniendo una densidad media de 14 pulsos.m<sup>-2</sup>. En 21 de estas parcelas circulares se obtuvieron nubes de puntos con láser escáner terrestre (TLS) FARO Focus 3D 120 que, una vez procesadas, sirvieron como referencia para evaluar las estimaciones de variables de sotobosque obtenidas con LiDAR *full-waveform*.

El procesado de estos datos consistió en la voxelización y generación de las ondas pseudovericales (Hermosilla et al., 2014) y en la extracción de las métricas, para lo cual se desarrolló un software específico, disponible en breve para la comunidad científica. Se crearon modelos de variables de combustibilidad (CH, CBH, CFL y densidad de árboles) mediante regresión ordinaria múltiple con un máximo de tres variables independientes y se evaluaron mediante validación cruzada, obteniendo buenos resultados para las tres primeras (tabla 1). Para el estudio del sotobosque se desarrollaron nuevas métricas, basadas en la caracterización

de la onda próxima al terreno, que se calcularon junto con las anteriores para cada columna de vóxeles. Los datos de referencia de las cuatro variables dependientes se obtuvieron a partir de mediciones sobre la nube de puntos TLS voxelizada. Los modelos se generaron mediante regresión lineal múltiple y se evaluaron con validación cruzada. Los resultados de las variables de sotobosque a nivel de parcela se muestran en la tabla 2. Como conclusión, se confirma que los datos LiDAR *full-waveform* permiten estimar adecuadamente no sólo variables de estructura arbórea, sino también caracterizar propiedades del sotobosque de gran utilidad en los modelos de propagación del fuego.

## Tablas

Tabla 1. Resultados de los modelos de predicción de variables de cubierta vegetal (DENS: densidad de árboles; CH: canopy height; CBH: canopy base height; CFL: canopy fuel load).

	R <sup>2</sup>	RMSE	nRMSE	CV
DENS	0,342	304,11 árb.ha <sup>-1</sup>	12%	39%
CH	0,905	1,15 m	6%	9%
CBH	0,906	0,88 m	7%	15%
CFL	0,774	3,81 Mg.ha <sup>-1</sup>	10%	19%

Tabla 2. Resultados de los modelos de predicción de variables de sotobosque (MH: altura media; MaxH: altura máxima; COVER: cubierta; VOL: volumen)

	R <sup>2</sup>	RMSE	nRMSE	CV
MH	0,949	0,08 m	7%	11%
MaxH	0,758	0,52 m	12%	15%
COVER	0,871	0,09	11%	12%
VOL	0,951	56,49 m <sup>3</sup>	7%	9%

## Referencias

Andersen, H-E., McGaughey, R.J., Reutebuch, S.E. 2005. Estimating forest canopy fuel parameters using LiDAR data. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 94, 441-449.

Hermosilla, T., Coops, N. C., Ruiz, L. A., Moskal, L. M., 2014b. Deriving pseudo-vertical waveforms from small-footprint full-waveform LiDAR data. *Remote sensing letters* 5(4), 332-341.

Kramer, H., Collins, B., Kelly, M., Stephens, S., 2014. Quantifying ladder fuels: A new approach using LiDAR. *Forests* 5(6), 1432-1453.

Riaño, D., Meier, E., Allgöwer, B., Chuvieco, E., Ustin, S., 2003. Modeling airborne laser scanning data for the spatial generation of critical forest parameters in fire behavior modeling. *Remote Sensing of Environment* 86(2), 177-186.