

## Procedimiento para la estimación de variables dasométricas a partir de datos LiDAR

L. A. Ruiz<sup>1</sup>, T. Hermosilla<sup>1</sup>, M. Godino<sup>2</sup>, J. Almonacid<sup>1</sup>, A. Fernández-Sarriá<sup>1</sup>, J.A. Recio<sup>1</sup>, J.L. Gil-Yepes<sup>1</sup> y F. Mauro<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Grupo de Cartografía GeoAmbiental y Teledetección (CGAT). Universidad Politécnica de Valencia. Camino de Vera s/n, 46022 Valencia (España). E-mail: [laruiz@cgf.upv.es](mailto:laruiz@cgf.upv.es)

<sup>2</sup> Grupo de Inventario y Gestión de Recursos Naturales. Universidad Politécnica de Madrid. Ciudad Universitaria s/n, Madrid (España).

### RESUMEN

Se presenta una metodología para la estimación de variables forestales a partir de datos LiDAR aerotransportado, basada en los siguientes pasos: (1) el pre-tratamiento de los datos para la obtención del modelo digital del terreno y el modelo de altura de vegetación normalizado; (2) la extracción de características o atributos a partir de los datos LiDAR para cada tesela de muestreo; (3) la generación de modelos de estimación para diferentes variables dasométricas; y (4) su extensión para la generación de mapas de variables forestales en zonas más amplias. La metodología se ha aplicado sobre una zona de estudio de 4.100 ha en el término municipal de Cuenca, donde se realizó un vuelo LiDAR con densidad nominal de 4 pts/m<sup>2</sup>. Para la generación de los modelos de estimación se han utilizado métodos de regresión múltiple paso a paso tomando como referencia mediciones realizadas en 110 parcelas de campo, obteniéndose valores de R<sup>2</sup> superiores a 0,9 para biomasa total, volumen y fracción de cuba cubierta, y por encima de 0,86 para área basimétrica, biomasa del fuste y biomasa de raíz. Los modelos generados se han aplicado a toda la zona de trabajo para la creación de mapas de variables forestales, y el procedimiento completo se ha integrado en una aplicación de software específica.

**Palabras clave:** LiDAR, inventario forestal, variables dasométricas, biomasa, Inforest.

### ABSTRACT

*A methodology for the estimation of forest variables from airborne LiDAR data is presented, based on the following steps: (1) data pre-processing to obtain the digital terrain model and the normalised canopy height model; (2) feature extraction from LiDAR data for the field sampling plots; (3) definition of estimation models for different dasometric variables; and (4) extrapolation to a larger area to create maps of forest variables. The methodology is applied over a testing area of 4,100 ha located in Cuenca, where LiDAR data with a nominal density of 4 pts/m<sup>2</sup> was acquired. Stepwise multiple regression methods were used to generate the models, using measurements carried out over 110 field sampling plots. R<sup>2</sup> values obtained were above 0.9 for total biomass, volume and fraction of canopy cover, and over 0.86 for basal area, stem and root biomass. The models obtained were extrapolated over the complete area to obtain the forest variable maps, and the procedure was integrated in a specific software tool.*

**Keywords:** LiDAR, forest inventory, dasometric variables, biomass, Inforest.

### INTRODUCCIÓN

Existen numerosos estudios para la estimación de variables forestales a partir de imágenes y, sobre todo, de datos LiDAR aerotransportado. Por citar sólo algunos, se han estimado alturas medias (Naesset, 1997), biomasa y volumen (Nelson et al., 1998), área basimétrica (Means et al., 2000), o todas ellas (Holmgren y Johnsson, 2004). En ellos se ha evaluado la potencialidad

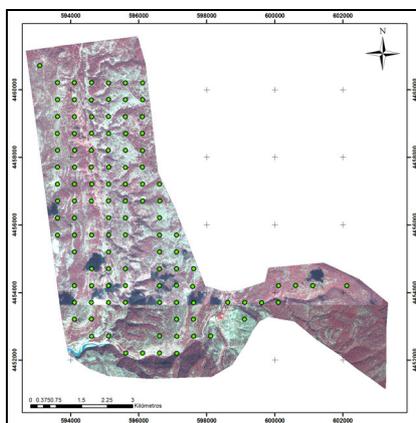
de estos sistemas para la estimación de variables en inventarios forestales, con diferentes resultados, e incluso se ha estudiado la estructura de la masa forestal (Lefsky et al., 1999), si bien la inmensa mayoría se centran en áreas de gran homogeneidad forestal, muy diferentes a la diversidad propia de los bosques mediterráneos.

Este estudio se ha llevado a cabo en el marco del proyecto *Inforest*, financiado por el Ministe-

rio de Industria, Turismo y Comercio entre 2008 y 2011, para el desarrollo de metodologías que permitan mejorar la gestión forestal a partir de datos de observación de la Tierra. En concreto, el objetivo del estudio que aquí se presenta ha sido desarrollar un procedimiento completo para la generación, aplicación y evaluación de modelos de estimación de variables forestales a nivel de parcela empleando datos LiDAR aerotransportado, y su posterior extensión a zonas más amplias, con la finalidad de obtener mapas de variables forestales a nivel de monte. Se describen los métodos empleados desde la adquisición y el preprocesado de los datos hasta la obtención de los mapas de variables.

### ZONA DE ESTUDIO Y DATOS

El estudio se ha realizado en un área de montaña de 4.100 ha situada en el término municipal de Cuenca, fundamentalmente con dos especies de pino: *Pinus sylvestris* y *Pinus pinaster*, además de matorral y suelo desnudo. Se trata de una zona con acusadas pendientes y gran heterogeneidad en cuanto a densidad de vegetación. Las mediciones realizadas permitieron obtener datos por parcela de todas las variables objeto de estudio.



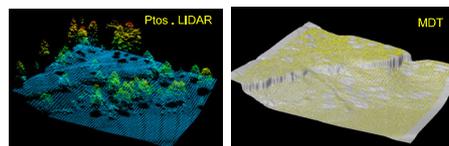
**Figura 1:** Distribución de las parcelas de campo en la zona de estudio (sobre imagen Ikonos).

Los datos LiDAR fueron adquiridos en noviembre de 2008 con una densidad nominal de 4 pts/m<sup>2</sup>. Entre 2008 y 2009 se obtuvieron datos de campo de 110 parcelas circulares de 50 m. de diámetro, distribuidas regularmente sobre la zona de estudio (figura 1).

### PREPROCESADO DE LOS DATOS LiDAR

Tras el control de calidad de los datos, se llevó a cabo un filtrado de puntos anómalos, y se obtuvieron los diferentes modelos digitales: del terreno (MDT), de superficies (MDS) y de alturas de vegetación normalizado (MAV). La metodología empleada para la generación del MDT se basa en un algoritmo iterativo, descrito en Estornell et al. (en prensa), consistente en la selección de puntos con cota mínima en un área de búsqueda determinada, estableciendo así un MDT inicial. Posteriormente, sobre los datos iniciales se realiza una nueva búsqueda de puntos mínimos aplicando áreas de búsqueda menores. Los nuevos puntos seleccionados se comparan con el MDT obtenido en el paso anterior. Se define un umbral en la diferencia de la cota de un determinado punto seleccionado con respecto a la asociada a ese punto en el MDT de comparación, eliminándose los puntos seleccionados cuya cota supere el valor umbral. Utilizando este método iterativo se consigue generar un MDT más preciso, ya que se eliminan puntos asociados a objetos situados sobre la superficie terrestre, como la vegetación. El MDT se calculó con una resolución espacial de 1 m.

Por su parte, el MDS se obtuvo asignando el valor de los puntos con elevación máxima en cada celda. Una vez obtenidos ambos, la diferencia entre el MDS y el MDT permitió generar el MAV normalizado con respecto al terreno. La figura 2 muestra un detalle de la nube de puntos original y el MDT resultante.



**Figura 2:** Detalle de la nube de puntos LiDAR (izqu.) y la superficie del MDT con los puntos del terreno extraídos en amarillo (dcha.)

### CÁLCULO DE LAS CARACTERÍSTICAS DESCRIPTIVAS

Cada parcela fue analizada independientemente para la extracción de características descriptivas que permitieran generar modelos de estimación de las variables dasométricas. Se calcularon los valores de media, desviación, máximo, *skewness* y *kurtosis* para cada parcela a partir de la nube de puntos original normalizada (datos originales con el valor de altura de cada

punto corregido respecto a la cota del MDT obtenido) y del MAV. Las características calculadas del MAV proporcionan información sobre los valores máximos de altura y su distribución espacial. Por su parte, las características extraídas de la nube de puntos normalizada proporcionan información sobre la estructura interna de la vegetación de una parcela. Esta información se complementa con los valores de los percentiles 25, 50 y 75 de altura e intensidad de pulso.

Se generaron los perfiles de densidad, o histogramas de la distribución de las alturas en cada parcela, a partir de los cuales se determinaron parámetros relacionados con el número de máximos, su posición (altura) y el porcentaje de puntos situados a dicha altura.

La fracción de cabida cubierta se estimó directamente a partir del análisis de los perfiles de densidad, obteniendo una variable intermedia que después se corrigió mediante regresión lineal con la estimada en campo.

## GENERACIÓN DE LOS MODELOS DE ESTIMACIÓN DE LAS VARIABLES

Los modelos de estimación se calcularon mediante regresión múltiple paso a paso hacia delante, con un máximo de tres variables independientes en cada modelo generado. La relación entre las variables observadas en campo y las predichas a partir de los datos LiDAR se analizó mediante el coeficiente  $R^2$ , calculado como el cuadrado del coeficiente de correlación del momento producto de Pearson:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^N (\phi_i - \bar{\phi}) \cdot (\phi_{iobs} - \bar{\phi}_{iobs})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (\phi_i - \bar{\phi})^2 \cdot \sum_{i=1}^N (\phi_{iobs} - \bar{\phi}_{iobs})^2}} \quad (1)$$

donde  $\phi_i$  es el valor pronosticado a partir de los datos LiDAR para la parcela  $i$ ,  $\phi_{iobs}$  es el valor observado en campo para esa misma parcela, y  $N$  es el número de parcelas analizadas. Se ha calculado, además, el error medio cuadrático (EMC), que representa la media de las diferencias promedio entre los valores pronosticados y observados, definido mediante la Ecuación (2):

$$EMC = \sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{(\phi_i - \phi_{iobs})^2}{N}} \quad (2)$$

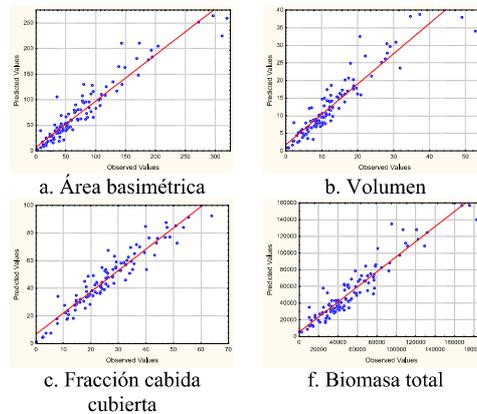
La evaluación se llevó a cabo mediante validación cruzada, en la que 109 parcelas se emplearon en la generación del modelo y una en

la validación, repitiendo el proceso 110 veces en las que la parcela de validación era siempre distinta e independiente del resto. La Tabla 1 muestra los resultados obtenidos para cada modelo, empleándose únicamente entre 1 y 3 variables, para conferir una mayor robustez y facilidad de aplicación práctica. Para el área basimétrica, la biomasa del fuste y la biomasa de la raíz se obtuvieron valores de  $R^2$  ligeramente inferiores a 0,90. La fracción de cabida cubierta, el volumen y la biomasa total se han estimado con una  $R^2$  próxima a 0,9.

Variabes forestales	$R^2$	EMC
Área basimétrica	0,862	3,38 m <sup>2</sup> /ha
Volumen	0,902	19,95 m <sup>3</sup> /ha
FCC	0,902	3,956 %
Biomasa total	0,902	11.384,45 kg/ha
Biomasa del fuste	0,872	10.088,46 kg/ha
Biomasa de la raíz	0,888	3.206,72 kg/ha

**Tabla 1:** Valores de  $R^2$  y EMC obtenidos en la estimación de las variables dasométricas.

En la figura 3 se muestran las gráficas de regresión, relacionando las variables dasométricas observadas en campo con las variables estimadas mediante modelos obtenidos a partir del análisis de los datos LiDAR.

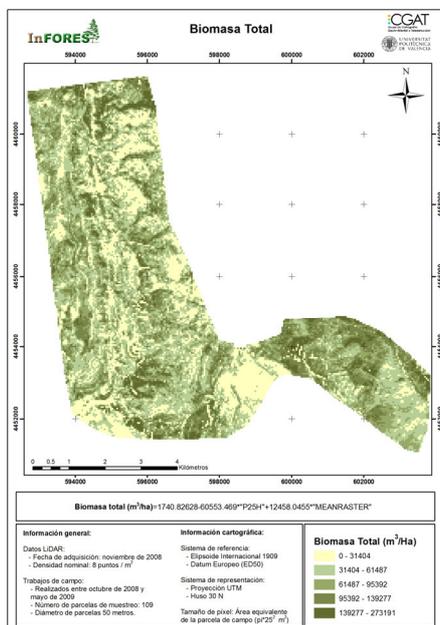


**Figura 3:** Regresiones de las variables dasométricas observadas y estimadas.

## MAPAS DE VARIABLES FORESTALES

Una vez obtenidos y evaluados los modelos, se crearon mapas de las variables forestales aplicándolos a la zona de estudio completa. Para ello, se dividió el territorio en celdas cuadradas con una superficie equivalente a las de las parcelas de muestreo en campo, esto es  $\pi \times 25^2 =$

1.963,5m<sup>2</sup>. La figura 4 muestra como ejemplo el mapa de biomasa total de la zona.



**Figura 4:** Ejemplo del mapa de biomasa total generado en la zona de estudio.

## CONCLUSIONES

Con las características de la zona de trabajo, se puede concluir que la estimación de las variables dasométricas volumen, biomasa, área basimétrica y FCC pueden estimarse de forma precisa ( $R^2$  próxima a 0,9) a partir de parámetros cuantitativos calculados directamente a partir de los datos LIDAR utilizados.

El procedimiento completo, desde la generación de los modelos digitales (MDT y MAV), extracción de características, generación de los modelos de regresión y obtención de los mapas finales se ha integrado en una aplicación software desarrollada específicamente, lo que permite su aplicación automática partiendo de los ficheros LiDAR y de los datos de campo.

Los resultados obtenidos muestran la viabilidad de aplicación práctica de estas técnicas, pudiendo permitir la reducción de los trabajos de campo en inventarios, así como su actualización más dinámica.

## BIBLIOGRAFÍA

ESTORNELL, J., RUIZ, L.A., VELÁZQUEZ-MARTÍ, B. y HERMOSILLA, T., (en prensa). *Analysis of the factors affecting LiDAR DTM accuracy in a steep shrub area*. International Journal of Digital Earth (DOI: 10.1080/17538947.2010.533201).

HOLMGREN, J. y JONSSON, T., 2004. *Large scale airborne laser scanning of forest resources in Sweden*. ISPRS- International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVI, Part 8/W2, pp.157-160.

LEFSKY, M.A., COHEN, W.B., ACKER, S. A., PARKER, G., SPIES, T. Y HARDING, D., 1999. *LiDAR remote sensing of the canopy structure and biophysical properties of Douglas-fir western hemlock forests*. Remote Sensing of Environment, Vol.70 (3), 339–361.

MEANS, J. E., ACKER, S. A., BRANDON, J. F., RENSLOW, M., EMERSON, L. Y HENDRIX, C. J., 2000. *Predicting forest stand characteristics with airborne scanning LiDAR*. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 66 (11), pp. 1367-1371.

NÆSSET, E., 1997. *Determination of mean tree height of forest stands using airborne laser scanner data*. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 52 (2), 49–56.

NELSON, R., KRABILL, W. Y TONELLI J., 1998. *Estimating forest biomass and volume using airborne LiDAR data*. Remote Sensing of Environment, Vol. 24 (2), 247-267.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio en el marco del proyecto TSI-020100-2009-815, *Desarrollo de técnicas y métodos para la gestión forestal sostenible a partir de datos de observación de la Tierra (INFOREST-II)*, así como a los socios y colaboradores del mismo.