

LA TECNOLOGÍA LIDAR EN LA PLANIFICACIÓN Y GESTIÓN FORESTAL: NUEVAS FORMAS DE CÁLCULO DE EXISTENCIAS Y GENERACIÓN DE CARTOGRAFÍA DE MASAS FORESTALES

Alfredo Fernández-Landa¹ y Francisco Rodríguez Puerta²

¹ Agresta S. Coop. c/ Numancia 1, 3º. 42001-SORIA (España). Correo electrónico: afernandez@agresta.org

² Fundación CESEFOR. Pol. Ind. Las Casas s/n. 42005-SORIA (España). Correo electrónico: paco.rodriguez@cesefor.com

Resumen

Gracias a la tecnología LiDAR (Light Detection and Ranging) tenemos la oportunidad de reducir sustancialmente los costes en inventario forestal mejorando a la vez los procesos de decisión en planificación y gestión forestal sostenible. Se trata de una revolución en nuestro sector comparable a la que supuso la introducción de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) o de las imágenes aéreas y satelitales. Los responsables de la planificación forestal tienen delante de sí el reto de aprovechar esta tecnología para generar información útil de alta calidad y resolución. En el presente artículo se analizan las diferencias entre los métodos de inventario forestal clásico por muestreo sistemático y los métodos de inventario LiDAR; se destaca la importancia que tiene la modelización en la estimación de las diferentes variables forestales y se dan ejemplos de generación con LiDAR de cartografía de existencias forestales, de actuaciones selvícolas, de modelos de combustible y de vulnerabilidad frentes a incendios en varios montes de la provincia de Soria.

Palabras clave: *LiDAR, Inventario forestal, Estructura de la vegetación*

INTRODUCCIÓN

El LIDAR (Light Detection And Ranging) es un sistema activo de detección remota basado en un escáner laser. Esta tecnología aerotransportada permite obtener una mayor densidad de medidas de las superficies que cualquier otro sistema conocido, presentando la ventaja frente a otros sensores de poder penetrar la cubierta vegetal y capturar información de diferentes estratos de vegetación y del suelo. El sensor LiDAR, midiendo el tiempo que tarda en ir y volver la luz emitida, es capaz de calcular la tripleta de coordenadas de los múltiples rebotes que tienen cada

uno de los pulsos de láser que salen del sensor. Al mismo tiempo registra las intensidades de la señal láser (cada material refleja de manera diferencial el rayo de luz láser) con las que se pueden confeccionar imágenes de intensidades y darles tratamientos similares a los dados a imágenes capturadas con sensores pasivos.

La tecnología LiDAR abre nuevas e interesantes posibilidades para la descripción de las coberturas vegetales ya que proporciona un volumen enorme de información de la estructura del bosque. Los sensores LIDAR, por tanto, miden directamente tanto la localización vertical como la distribución horizontal de los elementos

de las cubiertas vegetales, esto unido a la fuerte correlación que existe entre la altura de la vegetación y algunas características biofísicas como la biomasa total, la densidad de árboles o el volumen de madera (DUBAYAH, 2000) hacen que el LIDAR se esté convirtiendo en una herramienta imprescindible para la captura de información de nuestras superficies forestales.

Son muchos los investigadores que han utilizado la información LiDAR de forma exitosa para estimar biomasa sobre el suelo tanto a nivel de rodal como de árbol (LIM & TREITZ, 2004; NÆSSET & GOBAKKEN, 2008; BORTOLOTT & WYNNE, 2005; POPESCU, 2007). Además, el progresivo abaratamiento de esta tecnología o la disponibilidad de datos ya capturados, está haciendo que, en muchos casos, la aplicación de los métodos clásicos de inventario forestal y generación de cartografía temática empiecen a perder sentido. Es importante tener en cuenta que esta información es espacialmente continua y cubre la totalidad de la superficie estudiada, algo hasta ahora impensable en nuestro sector.

Un adecuado procesado de la nube de puntos LIDAR nos permite conocer variables como la fracción de cabida cubierta arbórea (FCC), las alturas máximas de la vegetación, la altura dominante, la presencia de matorral o regeneración avanzada, la existencia o no de continuidad vertical u horizontal de los combustibles. Ajustando modelos estadísticos que relacionen la información LIDAR con información tomada

en campo podemos estimar variables tan importantes para la gestión forestal como el número de pies (N), el área basimétrica (AB), el volumen de madera de fuste (VCC), el diámetro cuadrático medio (Dg), la altura dominante (Ho), la biomasa foliar o la biomasa de ramas. La Figura 1 muestra un perfil de una nube de puntos LiDAR donde se aprecia la cantidad de información de la masa forestal que es posible extraer.

Gracias al Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA) tenemos a día de hoy disponible cobertura LiDAR en una parte importante del territorio nacional. El PNOA tiene como objetivo la generación de ortofotografía aérea con resolución de 25 ó 50 cm y modelos digitales de elevaciones (MDE) de alta precisión de todo el territorio español, con un período de actualización de 2 ó 3 años, según las zonas. Se trata de un proyecto en cooperación y cofinanciado entre la Administración General del Estado y las Comunidades Autónomas. La información LiDAR capturada hasta el momento en el territorio nacional dentro del PNOA se resume en la Figura 2. La densidad media del LiDAR es de 0,5 pto·m⁻², se presenta en formato LAS con alturas elipsoidales y con una distribución de hojas de 2x2 km. Algunos autores ya ha señalado que el LiDAR del PNOA es una excelente fuente de información para la planificación y gestión forestal y una oportunidad para reducir los costes de inventarios forestales (GONZÁLEZ-FERREIRO et al., 2012).

En los procesos de planificación forestal aproximadamente la mitad de los costes (10 €·ha⁻¹) son

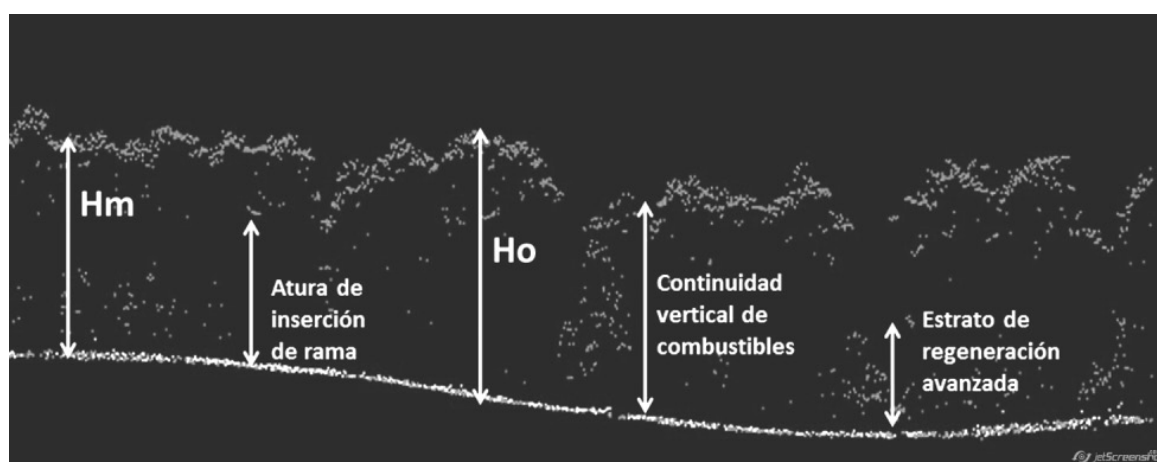


Figura 1. Perfil de una nube de puntos LiDAR. El proceso de clasificación de la nube de puntos es un paso fundamental ya que permite diferenciar los retornos de suelo de los de vegetación, edificios u otras infraestructuras. La figura muestra lo sencillo que es estimar a partir de la nube de puntos LiDAR alturas medias del arbolado (Hm) o alturas dominantes (Ho) o incluso alturas de inserción de rama

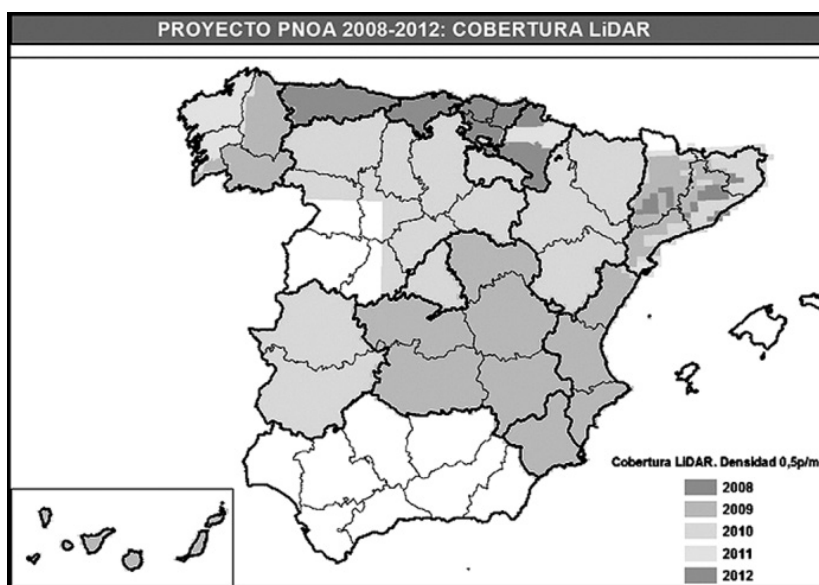


Figura 2. Estado de la cobertura LiDAR del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea actualizado a septiembre de 2012. Fuente: WEB IGN: http://www.ign.es/PNOA/vuelo_lidar.html

imputables a la adquisición de información. Mediante la tecnología LiDAR se podrían reducir los costes de inventario forestal a valores en torno a 5 €·ha⁻¹ (FABRA, 2012) o incluso sustancialmente por debajo de esta cifra trabajando en grandes superficies, con la metodología adecuada y con datos ya capturados (información LiDAR del PNOA).

MÉTODOS DE MASA Y CARTOGRAFÍA DE ACTUACIONES SELVÍCOLAS

Los métodos de masa de inventario forestal con LiDAR se basan en el ajuste de regresiones, normalmente no lineales, que relacionan los estadísticos de la nube de puntos LiDAR, ya normalizada, con las principales variables de masa que necesitamos obtener en un inventario forestal. La bondad de ajuste se analiza a través

de estadísticos de sesgo y precisión como son el error medio y la varianza. Para cada una de las variables modelizadas se puede generar una cartografía continua aplicando cada uno de estos ajustes a toda la superficie del monte.

Si comparamos un inventario forestal realizado por muestreo sistemático (método más utilizado en planificación forestal) con un inventario forestal LiDAR (Tabla 1) vemos que en el inventario LiDAR se miden alturas de los diferentes componentes de la vegetación en el 100% de la superficie, mientras que en un muestreo sistemático por parcelas la superficie medida (fracción de muestreo) suele estar por debajo del 1% de la superficie total. El volumen de información disponible puede ser entre 4.000 y 8.000 veces mayor en un inventario LiDAR que en uno realizado por un muestro sistemático. Esto hace que en los inventarios LiDAR la bon-

	LIDAR	MUESTRO SISTEMÁTICO
Volumen de información	20.000 y 40.000 datos de alturas de la vegetación por ha	5-10 datos de diámetros y alturas por ha
Fracción de muestro	100%	Ronda el 1%
Errores	Bajos a nivel de rodal	Buenos en niveles superficiales grandes (cuartel, monte, estrato)
Resultados	Dificultad a la hora de distinguir especies y clases diamétricas	Distingue especies y clases diamétricas

Tabla 1. Principales diferencias entre un inventario clásico por muestro sistemático y un inventario LiDAR

dad de los resultados (número de árboles, área basimétrica, volumen o biomasa) depende en gran medida de la bondad de los modelos ajustados que relacionan los estadísticos del LiDAR con las variables de masa forestal. La resolución de la información obtenida es extremadamente mayor en el caso del inventario LiDAR y los errores a nivel de rodal son mucho más bajos. Esto es una diferencia fundamental sobre todo teniendo en cuenta que la unidad de gestión es el rodal y que las actuaciones selvícolas se planifican a nivel de rodal.

ALGUNOS EJEMPLOS DE INVENTARIO LiDAR

Todos los ejemplos de inventario forestal LiDAR que aparecen en el presente trabajo se refieren a diferentes montes de Utilidad Pública de la provincia de Soria situados en los términos municipales de Yanguas, Villar del Río y San Leonardo de Yagüe. Poseen una superficie forestal de 2.734 ha (de las que 2.509 ha son arboladas) pobladas principalmente con masas de *Pinus sylvestris*, *Pinus nigra* y *Pinus pinaster*.

Para la captura de la información LiDAR se diseñó un vuelo que permitía obtener una densidad media de 2 puntos·m². La nube de puntos LiDAR se clasificó con el software TerraScan distinguiendo suelo y 3 categorías de vegetación (baja, media y alta). Una vez clasificada la nube de puntos se generaron modelos digitales del terreno, de superficie y de altura de vegetación

para toda la zona de estudio. Un paso fundamental en las aplicaciones forestales del LiDAR es la normalización de la nube de puntos, esto es, la transformación de las elevaciones sobre el elipsoide de todos los retornos laser en elevaciones sobre el suelo (alturas de la vegetación). Para ello es necesario extraer la elevación del terreno a la elevación de cada uno de los retornos LiDAR clasificados como vegetación. Para este procesado de la información LiDAR se ha trabajado con el software FUSION desarrollado por el USDA Forest Service.

La Figura 3 muestra los resultados en cada una de las celdas del monte de las variables número de pies (N) y Volumen con Corteza (Vcc) para los montes de Utilidad Pública 193 y 194 de la provincia de Soria y para un tamaño de píxel de 380 m², esto es, la misma superficie que las parcelas de campo utilizadas para realizar los ajustes de las regresiones. Sumando los valores de las celdas para las diferentes variables de masa en cada uno de los rodales del monte obtenemos los resultados de inventario forestal en las diferentes unidades de gestión.

Una vez estimadas todas las variables de masa en cada uno de los píxeles, resulta sencillo detectar zonas donde existe una necesidad de actuación selvícola utilizando un modelo o norma selvícola. Además se puede cuantificarlas intervenciones en cada una de los píxeles de inventario y rodalizar basándonos en esa información, obteniendo así una cartografía de actuaciones selvícolas muy útil para la toma de decisiones en la planificación y gestión forestal (Figura 4).

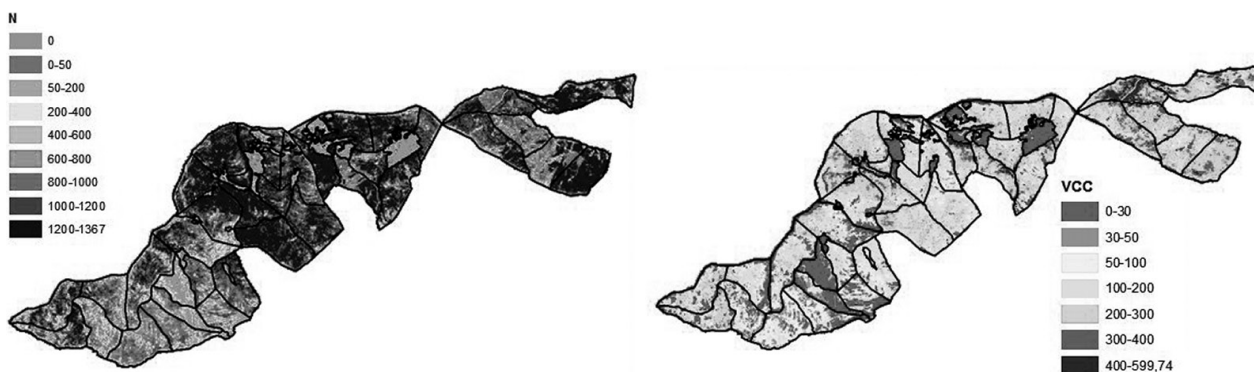


Figura 3. Cartografía referente al número de pies por hectárea (N/ha) y al volumen con corteza (VCC en m³/ha) en los MUP 193 y 194 de la provincia de Soria. En cada uno de los píxeles del monte y para cada variable modelizada se obtienen resultados. En este caso la superficie del píxel fue de 380 m², idéntica a la superficie de las parcelas de campo con que se ajustaron los modelos de regresión

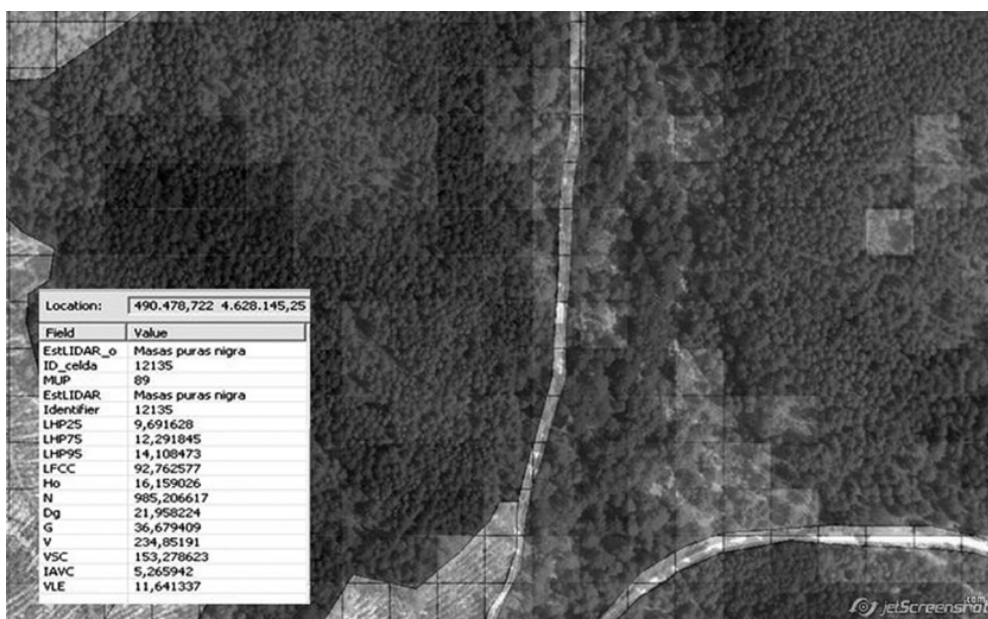


Figura 4. Cartografía de claras para el MUP 89 de la provincia de Soria. A partir de los resultados de inventario de cada píxel y aplicando una norma selvícola obtenemos el volumen de madera o biomasa a extraer

Si ajustamos para nuestra zona de estudio o disponemos de un modelo de crecimiento de masa forestal podemos proyectar el inventario a futuro y calcular intervenciones selvícolas dentro de 5; 10 ó 15 años (Figura 5).

La estructura de masa forestal, que podemos describir con precisión a partir de la información LiDAR, está muy relacionada con los diferentes

productos de madera que se encuentran potencialmente disponibles en el monte. Si en la muestra de parcelas de campo hemos medido los diferentes productos de madera podemos ajustar regresiones que nos permitan generar una cartografía que nos muestre de forma continua la distribución de los productos de madera en el área de inventario (figura 6).

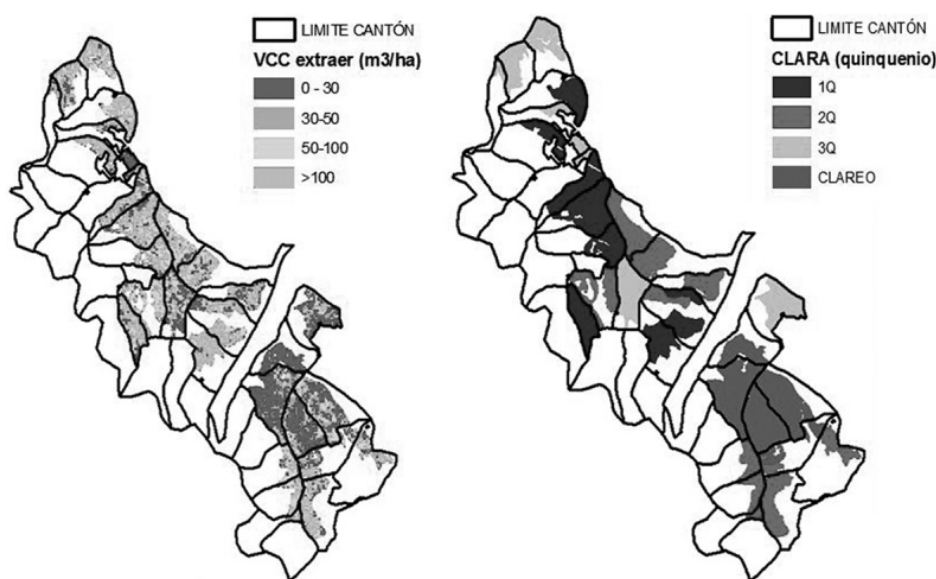


Figura 5. Proyección de existencias a 2,5 años y 7,5 años en el inventario LiDAR del MUP 89 de la provincia de Soria en el Término Municipal de San Leonardo de Yagüe. Estas proyecciones nos permiten calcular intervenciones selvícolas en el futuro y de forma continua en todo el área de estudio

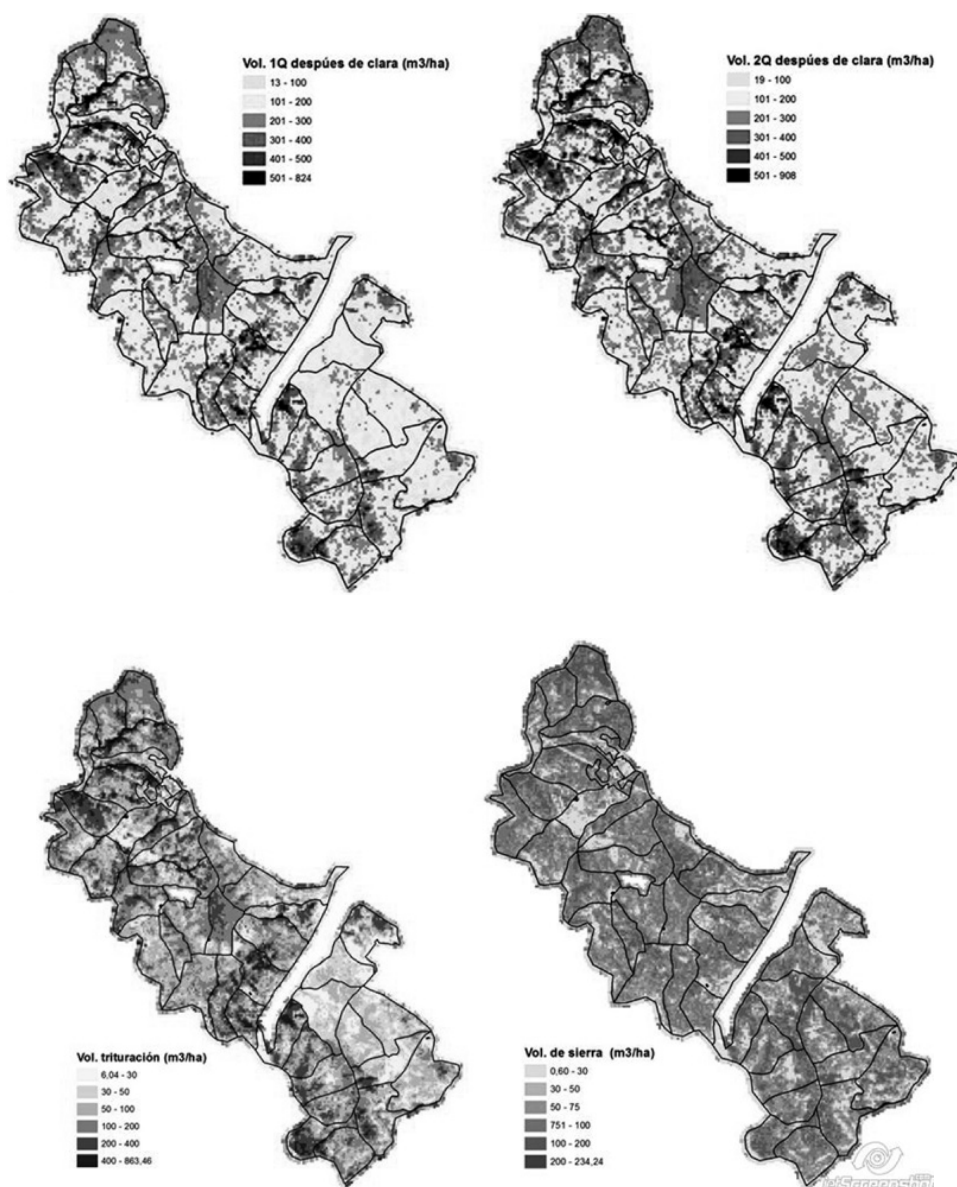


Figura 6. Distribución del volumen de sierra y del volumen de trituración en el MUP 89 de la provincia de Soria

BIBLIOGRAFÍA

- BORTOLOTT, Z.J. & WYNNE, R.H.; 2005. Estimating forest biomass using small footprint LiDAR data: An individual tree-based approach that incorporates training data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 59: 342-360.
- DUBAYAH, R.O.; KNOX, R.G.; HOFTON, M.A.; BLAIR, J.B. & DRAKE, J.B.; 2000. Land surface characterization using lidar remote sensing. In: M. Hill & R. Aspinall (eds.), *Spatial information for land use management*. Singapore International Publishers Direct. Singapore.
- FABRA, M.; 2012. Aplicaciones de la tecnología LiDAR al sector forestal y comparación de costes frente a metodologías tradicionales. *Revista Montes* 110: 36-37.
- HILL, R.A. & THOMSON, A.G.; 2005. Mapping woodland species composition and structure using airborne spectral and LIDAR data. *International Journal of Remote Sensing* 26: 3763-3779.
- GONZÁLEZ-FERREIRO, E.; DIÉGUEZ-ARANDA, U.; & MIRANDA D.; 2012. Estimation of stand

- variables in *Pinus radiata* D. Don plantations using different LiDAR pulse densities. *Forestry* 85: 281-292.
- LIM, K.S. & TREITZ, P.M.; 2004. Estimation of above ground forest biomass from airborne discrete return laser scanner data using canopy-based quantile estimators. *Scand. J. For. Res.* 19: 558-570.
- NÆSSET, E. & GOBAKKEN, T.; 2008. Estimation of above- and below-ground biomass across regions of the boreal forest zone using airborne laser. *Remote Sensing of Environment* 112: 3079-3090.
- POPESCU, S.C.; 2007. Estimating biomass of individual pine trees using airborne lidar. *Biomass and Bioenergy* 31: 646-655.