



# 7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

**Gestión del monte: servicios  
ambientales y bioeconomía**

26 - 30 junio 2017 | Plasencia  
Cáceres, Extremadura

---

---

7CFE01-141

---

---

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales  
Plasencia. Cáceres, Extremadura. 26-30 junio 2017  
ISBN 978-84-941695-2-6

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

## Estimación de variables dasométricas a partir de datos Lidar del PNOA en el monte de utilidad pública 734 "Berretín" de la provincia de Álava

ARRAIZA, SANTILLÁN, A., VALBUENA M.A, y FERNANDEZ, MANSO A.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ingeniería y Ciencias Agrarias de la Universidad de León

### Resumen

El objetivo de este trabajo es desarrollar unos modelos predictivos aplicables a la estimación de las variables dasométricas volumen, altura media y diámetro medio del MUP no 734 "Berretín" de la Provincia de Álava mediante el tratamiento y el análisis de datos LIDAR aerotransportado de baja densidad (0.5 retornos /m<sup>2</sup>) procedentes del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA). La metodología se ha basado en el desarrollo de modelos de regresión entre las variables dasométricas, obtenidas a partir de 131 parcelas medidas en campo, y las variables obtenidas de la extracción de estadísticos de la nube de puntos LiDAR. Los coeficientes de determinación corregidos (R<sup>2</sup>) obtenidos fueron 77.23 % para la estimación del volumen (m<sup>3</sup>/ha), 92.80 % para la altura media (m) y 67.31 % para el diámetro medio (cm). Los modelos han sido espacializados lo que ha permitido realizar una cartografía de las variables dasométricas a una escala 1:100.000. Finalmente se realizó una comparativa de los datos obtenidos en el inventario de campo y los obtenidos a partir de los datos LIDAR en la que se comprobó que la metodología tradicional sobreestimaba entre un 10.47% y un 21.07% las existencias de madera (m<sup>3</sup>) demostrando las ventajas que ofrece la tecnología LIDAR frente a los métodos tradicionales de inventario.

### Palabras clave

Variables dasométricas, modelos, LIDAR, PNOA, inventario forestal.

### 1. Introducción:

Para una adecuada gestión de las masas forestales, es necesario conocer la situación de las mismas tanto en sus aspectos cuantitativos como cualitativos. Esta información se obtiene a través de inventarios forestales y permite conocer la distribución espacial de la biomasa total y de sus componentes, así como de las principales variables dasométricas descriptivas de las masas forestales.

En los últimos años, con la aparición de los sensores LIDAR, se han desarrollado nuevas técnicas para obtener datos espaciales. Gracias a esta nueva tecnología, podemos obtener una nueva perspectiva de los inventarios forestales obteniendo información tridimensional de nuestra superficie a inventariar desapareciendo los errores de muestreo que se cometen realizando los inventarios de forma tradicional y además podemos estimar nuestras variables a cada una de nuestras divisiones dasométricas del monte, algo realmente novedoso en comparación con las utilidades que nos ofrece un inventario de campo con el cuál sólo podríamos aplicar nuestros resultados a la totalidad del monte pudiendo realizar una cartografía espacialmente explícita de las distintas variables de masa.

### 2. Objetivos:

## 2.1 Objetivo general:

Estimar las variables dasométricas basadas en datos LIDAR del PNOA 2012 de los rodales correspondientes a *Pinus sylvestris*, *Pinus nigra* y mezcla de ambos en el MUP nº 734 “Berretín” de la Provincia de Álava integrado dentro del Parque Natural del Gorbea.

## 2.2 Objetivos específicos:

Desarrollar modelos predictivos para las variables dasométricas volumen total, altura media y diámetro medio a partir de los datos LIDAR.

Generar a partir de los modelos predictivos la cartografía de la distribución espacial de las variables estimadas para el MUP nº 734 “Berretín”.

Comparar la precisión de los datos obtenidos a partir de la tecnología LIDAR frente a los datos obtenidos en el inventario tradicional realizado en el año 2010.

## 3. Metodología:

### 3.1 Zona de estudio:

La zona de estudio corresponde al MUP nº 734 denominado “Berretín” que se encuentra dentro del Parque Natural del Gorbea en la provincia de Álava. (Ver figura 1)

En cuanto al MUP nº 734 “Berretín”, se trata de un monte que tras una serie de acuerdos entre la Diputación Foral de Álava y los pueblos con terrenos en propiedad dentro de dicho monte se realizaron las plantaciones del monte Berretín Alto en el año 1927 con aproximadamente unas 80 ha repobladas y unas 700 ha en Berretín Nuevo entre los años 1955 y 1960.

Según describe Cantero(2010), el conjunto de coníferas que conforman el monte Berretín constituyen la plantación más extensa de la vertiente mediterránea del País Vasco y además, una de las de mayor altitud. En cuanto a la calidad del arbolado, varía desde las zonas más altas y con peores características edáficas en las que los crecimientos son escasos, hasta las áreas más bajas en las que podemos encontrar rodales de *Pinus nigra*, *Chamaecyparis lawsoniana* y *Pinus sylvestris* con buenos crecimientos y grandes existencias maderables.

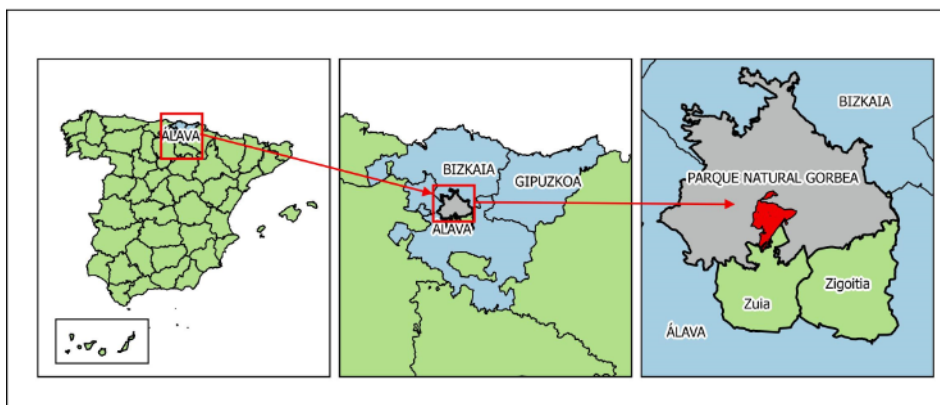


Figura 1. Localización del área de estudio

### 3.2 Datos de campo:

La ejecución de la toma de datos se llevó a cabo durante los meses de Febrero y Marzo del año 2010. En total se inventariaron 192 parcelas circulares de 15 m de radio, repartidas por todo el monte pero los datos empleados para la realización de este estudio corresponden únicamente a los rodales correspondientes a las especies de

*Pinus sylvestris*, *Pinus nigra* y mezcla de *Pinus sylvestris* y *Pinus nigra*, es decir, un total de 131 parcelas.

### 3.3 Datos LIDAR:

Para la elaboración del presente trabajo, se han empleado los datos LIDAR del PNOA (*Plan Nacional de Ortofotografía Aérea*). El proyecto PNOA, tiene como objetivo la obtención de ortofotografías aéreas digitales con una resolución de 25 o 50 cm y modelos digitales de elevaciones (MDE) de alta precisión de todo el territorio español logrando una cobertura completa, homogénea y periódica con un periodo de actualización de dos o tres años en función de las zonas.

La información fue suministrada en formato binario LAS sin clasificar, por lo que, fue necesario en primer lugar llevar a cabo un proceso de filtrado con el objetivo de eliminar todos aquellos puntos con valores de altitud que se encontraban fuera de rango. Para ello, se empleo el software FUSION LDV desarrollado por el Departamento de Agricultura y el Servicio Forestal de Estados Unidos, que incluye el algoritmo “Filter Data “ a partir del cual, se pueden eliminar aquellos puntos que presentan una cota superior a la de la vegetación así como aquellos puntos que presentan una cota inferior a la del suelo.

Otros autores generan un Modelo Digital de Elevaciones (MDE) a partir de la clasificación de los puntos en “suelo” y no “suelo” pero para la elaboración de este estudio, el Modelo Digital del Terreno (MDT) se descargó de la página de descargas de Geo Euskadi (<ftp://ftp.geo.euskadi.net/lidar>). De esta forma se puede garantizar el partir de un modelo digital muy preciso. El siguiente paso fue el de normalizar nuestra nube de puntos para así tener las alturas sobre el terreno. Por último, se calculo para cada una de las parcelas un conjunto de variables estadísticas derivadas de los datos LIDAR que posteriormente se correlacionaron con las variables dasométricas obtenidas a partir del tratamiento de los datos de campo y de esa forma se generaron los diferentes modelos de estimación de las variables anteriormente descritas.

### 3.4 Obtención de los modelos predictivos para la estimación de variables dasométricas

Una vez obtenidas las variables independientes a partir del tratamiento de los datos LIDAR y las variables dependientes a partir de los datos de campo se relacionaron a partir de modelos de regresión lineales.

Como paso previo, se seleccionaron las variables independientes que mostraban un mayor correlación con la variable dependiente a estimar. Una vez obtenidas dichas variables, se ajustaron los diferentes modelos de regresión lineal por el método de mínimos cuadrados comprobando el cumplimiento de las hipótesis básicas para los modelos de regresión lineal.

Una vez obtenido el modelo óptimo, se comprobó los valores de los siguientes estadísticos que nos muestran la bondad en el ajuste: Coeficiente de determinación ajustado ( $R^2$  corregido), el sesgo y la raíz de la media cuadrática de los errores (RMSE). Por último se realizó una fragmentación de la muestra en dos grupos con n y m parcelas. En el primer grupo, se emplearon 95 parcelas para ajustar el modelo y en cuanto al segundo grupo, se emplearon las 36 parcelas restantes para su validación.

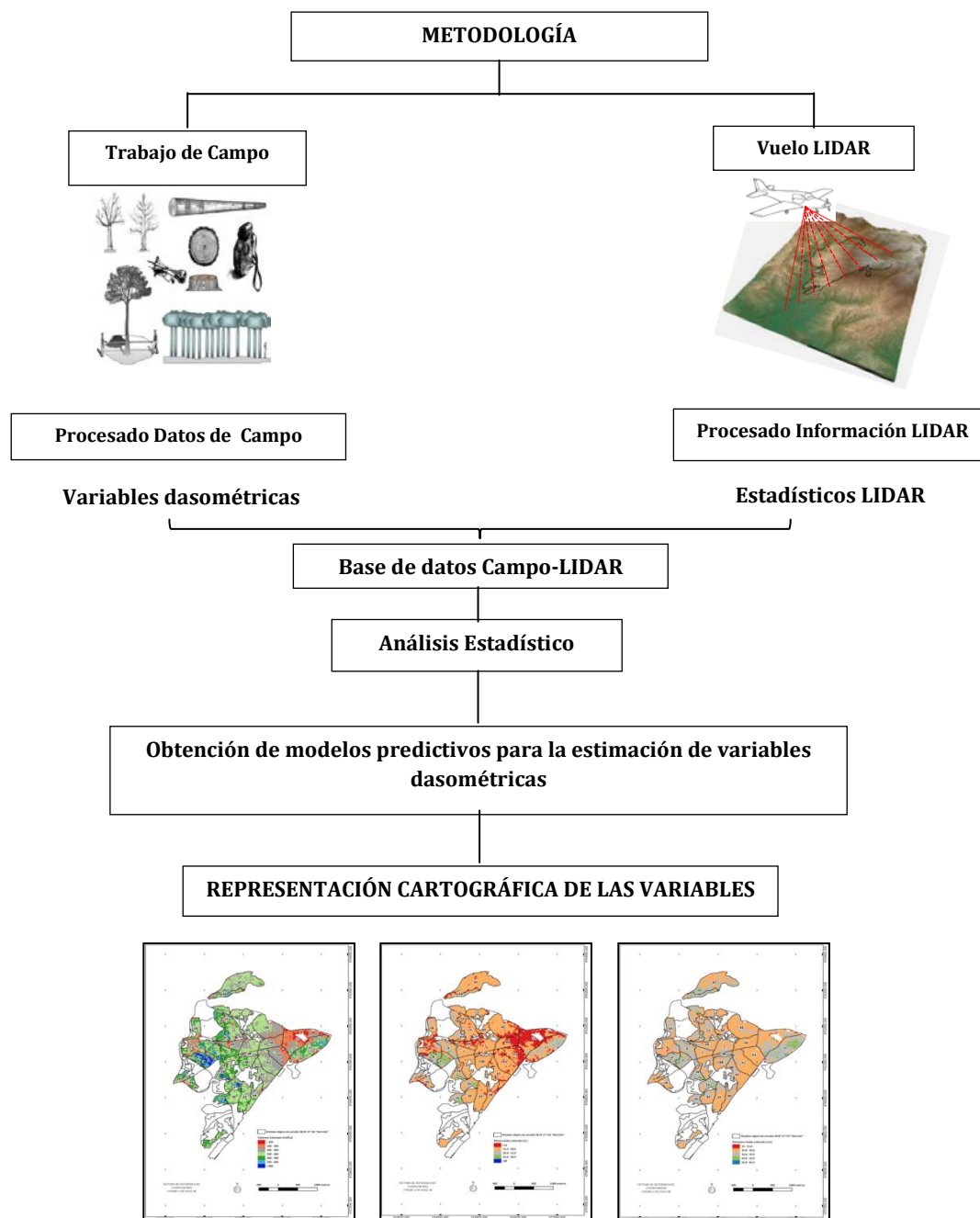


Figura 2.  
Metodología  
llevada a cabo

Tabla 1:  
Relación de las  
variables  
independientes

Variable independiente	Descripción
Elev P30	Altura desde el suelo a la que un determinado % de los retornos están por debajo de 30
Elev P50	Altura desde el suelo a la que un determinado % de los retornos están por debajo de 50
Elev P60	Altura desde el suelo a la que un determinado % de los retornos están por debajo de 60
Elev P75	Altura desde el suelo a la que un determinado % de los retornos están por debajo de 75
Elev P95	Altura desde el suelo a la que un determinado % de los retornos están por debajo de 95
Elev mean	Altura media sobre el terreno de todos los retornos para una parcela
Elev CV	Coeficiente de variación de las Alturas sobre el terreno de todos los retornos
Elev skewness	Asimetría de las Alturas sobre el terreno de todos los retornos
Canopy relief ratio	Tasa de los retornos provenientes del dosel
Percentage first returns above 2	Porcentaje de todos los primeros retornos por encima de 2 metros.
Percentage first returns	Porcentaje de todos los primeros retornos
PC/PP	Cociente entre el número de puntos contenidos en copas LIDAR y el número total de puntos en la parcela.

#### 4. Resultados:

##### 4.1 Modelos de estimación de variables dasométricas

Una vez analizadas las variables independientes con mayor correlación con la variable a estimar, y tras comprobar el cumplimiento de las hipótesis básicas, en la tabla 2, se puede observar las variables independientes que forman parte del modelo así como los resultados del ajuste de los mismos.

Tabla 2: Resumen de las variables y del ajuste de los modelos.

Modelo	Variable dependiente	Variables independientes	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Ajustada	Error estándar	Error absoluto medio
1	Volumen Total	Elev P50	77.47	77.23	64.44	51.56
2	Diámetro medio	Canopy relief ratio; Elev mean; ElevP75; Percentage first returns above 2	68.71	67.31	2.58	2.03
3	Altura media	Elev P95	92.88	92.80	0.90	0.75

Una vez ajustados los modelos se ha procedido a su validación obteniendo como resultado final los siguientes modelos:

$$\text{Volumen Total} = -145.179 + 33.6902 * \text{Elev P50}$$

$$\text{Altura media} = 0.506715 + 0.938375 * (\text{Elev P95})$$

$$\text{Diámetro medio} = 17.6109 - 13.7758 * \text{Canopy relief ratio} - 3.32427 * \text{Elev mean} + 4.23334 * \text{Elev P75} + 0.0583931 * \text{Percentage first returns above 2}$$

En el modelo obtenido para la estimación del diámetro medio, se puede observar como la variable "Elev mean" entra en el modelo restando. Puede parecer algo raro dicha situación, puesto que a primera vista nos indica que el volumen medio aumenta cuando la "Elev mean" disminuye. Esta situación parece indicar que el modelo no tiene ningún sentido pero hay que tener en consideración para la justificación de este detalle, que las variable "Elev mean" y "Elev P75" forman parte del modelo como una combinación de ambas variables, es decir de forma positiva, lo que se entiende de la siguiente forma: El diámetro aumenta al aumentar la combinación de ambas variables.

#### 4.2 Comparación de los resultados obtenidos en campo y los resultados a partir de LIDAR

Una vez obtenidos los resultados tras aplicar los diferentes modelos, el siguiente paso ha consistido en realizar una pequeña comparación de los valores obtenidos en el inventario de campo y los obtenidos a partir de aplicar los modelos.

En este caso, nos hemos centrado en la comparación de los valores obtenidos de volumen en el área de estudio.

Tabla 3: Resumen de los valores de volumen obtenidos en el inventario de campo y a partir de los datos LIDAR

<i>Valores Volumen Campo (m<sup>3</sup>/ha)</i>		<i>Valores Volumen LIDAR (m<sup>3</sup>/ha)</i>	
Media	373.05	Media	317.41
Error típico	11.67	Error típico	1.26
Desviación estándar	133.58	Desviación estándar	111.62

Mínimo	109.71	Mínimo	0.13
Máximo	732.99	Máximo	759.96
Total (m <sup>3</sup> )	209780.94	Total (m <sup>3</sup> )	176061.69

A partir de estos datos y teniendo en cuenta que en el diseño del inventario se modificó la localización de las parcelas para que todas las parcelas se situaran en zonas arboladas evitando los rasos, matorral, pastizales y pistas mientras que empleando la tecnología LIDAR se dispone de una nube de puntos con sus correspondientes valores estadísticos para toda la superficie objeto de estudio, podemos ver que existe una diferencia entre los valores medios del volumen en campo y los valores tras el análisis de los datos LIDAR.

## 5. Discusión

Tal y como se puede observar en la tabla 4 los resultados obtenidos a partir del ajuste de los modelos de estimación han sido similares a los obtenidos por otros autores, empleando una metodología similar aunque en algunos casos, los coeficientes de determinación de los modelos ( $R^2$  ajustada) son relativamente menores en el caso de la estimación del volumen y el diámetro.

Además se puede observar, como otros autores han empleado transformaciones logarítmicas para la obtención de los modelos, algo que en el presente estudio no ha sido necesario puesto que los modelos que ofrecían un mejor ajuste eran los modelos lineales.

Tabla 24: Resumen de los modelos obtenidos por diferentes autores y los obtenidos en el presente trabajo

Autores	Tipo de modelo	Variable dependiente	Variables independientes	R <sup>2</sup> Ajustada
Naesset (2002)	Potencial	Ln(V)	Ln(Elev P30); Ln(Elev P50); Ln(Elev P60) y Ln(Percentage first returns)	0.800
Li (2008)	Exponencial	Ln(V)	Elev mean; Elev CV; Percentage first returns	0.670 -0.880
García (2010)	Potencial	Ln(V)	Ln(Elev mean); Ln(Elev skewness); Ln(Elev stddev) y Ln(Percentage first returns)	0.897
Cabrera (2013)	Lineal	V	Elev P10 y Percentage first returns	0.867
	Potencial	Ln(Hm)	Ln(Elev P50)	0.799
Valbuena (2013)	-	V	Ln(DensLid); sqrt(HLid); PC/PP	0.88
	-	Hm	HLid	0.95
	-	Dm	Ln(DensLid); HLid	0.88
Arraiza (2015)	Lineal	V	Elev P50	0.77



	Lineal	Hm	Elev P95	0.93
	Lineal	Dm	Canopy relief ratio; Elev mean; Elev P75 y Percentage first returns above 2	0.67

## 6. Conclusiones:

Los resultados del presente estudio verifican la utilidad de los datos LIDAR para la estimación de variables dasométricas con una elevada precisión. Analizando los modelos obtenidos, se puede afirmar también que existe una buena correlación entre las variables forestales medidas en campo (variables dependientes) y las variables obtenidas a partir del tratamiento de los datos LIDAR (variables independientes).

En relación al desfase temporal entre los datos obtenidos en campo y los datos LIDAR, no se tiene constancia de que se hayan realizado claras u otros tratamientos selvícolas en el monte objeto de estudio, pero es importante considerar dicho desfase para futuros estudios, concluyendo que lo ideal sería realizar un inventario de campo simultáneo al vuelo LIDAR.

Es muy importante hacer hincapié en las ventajas que ofrece la tecnología LIDAR en la gestión forestal frente a los métodos tradicionales de inventario, ya que los resultados obtenidos se pueden aplicar tanto de forma continua a toda la superficie del terreno como a cada una de las divisiones dasocráticas del monte objeto de estudio de forma muy precisa lo que resulta un gran avance tanto en la gestión como en la planificación de las masas forestales.

## 7. Agradecimientos:

Al Dr. Francisco Rodríguez Puerta y a D. Alejandro Cantero por los conocimientos aportados en el curso sobre tecnología LIDAR.

A mis tutores el Dr. Alfonso Fernández-Manso y el Dr. Manuel Ángel Valbuena Rabadán por su atención, ayuda e ilusión que en todo momento me han transmitido.

Y en general a todas aquellas personas que día tras día han estado a mi lado.

## 8. Bibliografía:

CABRERA, J.; 2013. Estimación de variables dasométricas a partir de datos LIDAR PNOA en masas regulares de *Pinus halepensis*, Daroca (Zaragoza)

CANTERO, A.; 2010. Biodiversidad en las coníferas: El monte Berretín. Revista Sustrai, Vol 92. pp. 84-87

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, Vol. 85 pp.281-292

NAESSET, E.; 2002. Predicting forest stand characteristics with airborne scanning laser using a practical two-stage procedure and field data. Remote Sensing of Environment, Vol. 80 (1) pp. 88-99.

VALBUENA M.A.; 2013. Determinación de variables forestales de masa y árboles individuales mediante delineación de copas a partir de datos LIDAR

aerotransportado. Aplicación a las masas de *Pinus sylvestris* L. en Álava.