

NOTA TÉCNICA

CÁLCULO DE VALORES DE VARIABLES INDIVIDUALES Y DE MASA UTILIZANDO DATOS LIDAR AEROTRANSPORTADO. PRIMEROS RESULTADOS SOBRE CONÍFERAS

Manuel Ángel Valbuena Rabadán¹, Jacinto Santamaría Peña² y Félix Sanz Adán²

¹ Área de Tecnología Forestal. I.E.S Murgia B.H.I. c/Domingo de Sautu 65. 01130-MURGIA-ZUIA (Álava, España). Correo electrónico: mavalbuena66@gmail.com

² Área de Expresión Gráfica en la Ingeniería. Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de La Rioja. c/ Luis de Ulloa 20. 26007-LOGROÑO (La Rioja, España)

Resumen

En este trabajo se describe y se hace la comprobación preliminar de un procedimiento desarrollado para la estimación de algunos valores de variables forestales individuales y de masa aplicables a masas de cinco especies de coníferas procedentes de repoblación. El procedimiento se desarrolló utilizando programas de licencia libre en todos sus pasos. La base del estudio es la individualización de las copas de cada árbol desde la nube de puntos LIDAR original. En la delineación de copas no se recurre a la utilización de los modelos digitales de superficie conseguida por *rasterización* de la información contenida en los archivos originales. Tras la individualización de las copas de los árboles de la masa se estiman los parámetros forestales de: número de pies, superficie y diámetro de copa individual, fracción de cubierta y altura media. La obtención de los datos de cada árbol individual permite el cálculo de valores de variables de masa tanto en montes completos como en divisiones selvícolas y dasocráticas de éstos.

Palabras clave: *Delineación de copas, LIDAR, Inventario forestal, Modelo Digital de copas (MDC)*

INTRODUCCIÓN

Actualmente la adquisición de la información necesaria en los inventarios forestales debe realizarse de forma estrictamente manual y su coste temporal y económico es muy alto. Además, las técnicas de muestreo utilizadas consiguen estimaciones suficientemente precisas para los datos generales de toda la superficie inventariada pero son mucho menos fiables para las superficies de corta, cantones o rodales individuales que componen el monte.

Para reducir el coste de la realización de inventarios forestales y aumentar la precisión de las estimaciones en las divisiones selvícolas y dasocráticas menores, es necesario el desarrollo de técnicas automáticas que permitan eliminar una parte sustancial de los trabajos de campo y ofrezcan resultados fiables para cualquier magnitud de superficie manejada.

La tecnología LIDAR (Light Detection and Ranging o laser Imaging Detection and Ranging) con sensores aerotransportados permite la adquisición masiva de datos sobre la zona a inventariar con

un coste reducido y en un tiempo mínimo. Siendo esto así, su rápida difusión parece inevitable, como demuestra la próxima puesta a disposición pública de los datos LIDAR obtenidos periódicamente en España dentro del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA). Por ello es necesario el desarrollo de procedimientos que permitan la explotación intensiva de estos datos con el menor coste posible.

Durante la última década, el cálculo de variables relacionadas con la estructura de masa como altura media, altura dominante o fracción de cubierta mediante el uso de datos LIDAR aerotransportado ha sido frecuente (CUASANTE Y GARCÍA, 2009; CONDES Y RIAÑO, 2005; KINI & POPES-

CU, 2004; PALOMINO, 2009; ZHAO & POPESCU, 2007). También se han desarrollado métodos de cálculo de valores de variables características de pies individuales como altura total o individualización de copa utilizando los mismos datos (KOCH *et al.*, 2006; RAHNMAN & GORTE, 2009; SUAREZ *et al.*, 2009; WANG *et al.*, 2008). El gran tamaño de los ficheros generados con los datos de las superficies normalmente manejadas en la gestión forestal tiene como consecuencia que casi todos los estudios publicados se basen en la rasterización de la superficie determinada por la capa superior del dosel de copas de la masa y que se denomina Modelo Digital de Superficie (MDS). Por sustrac-

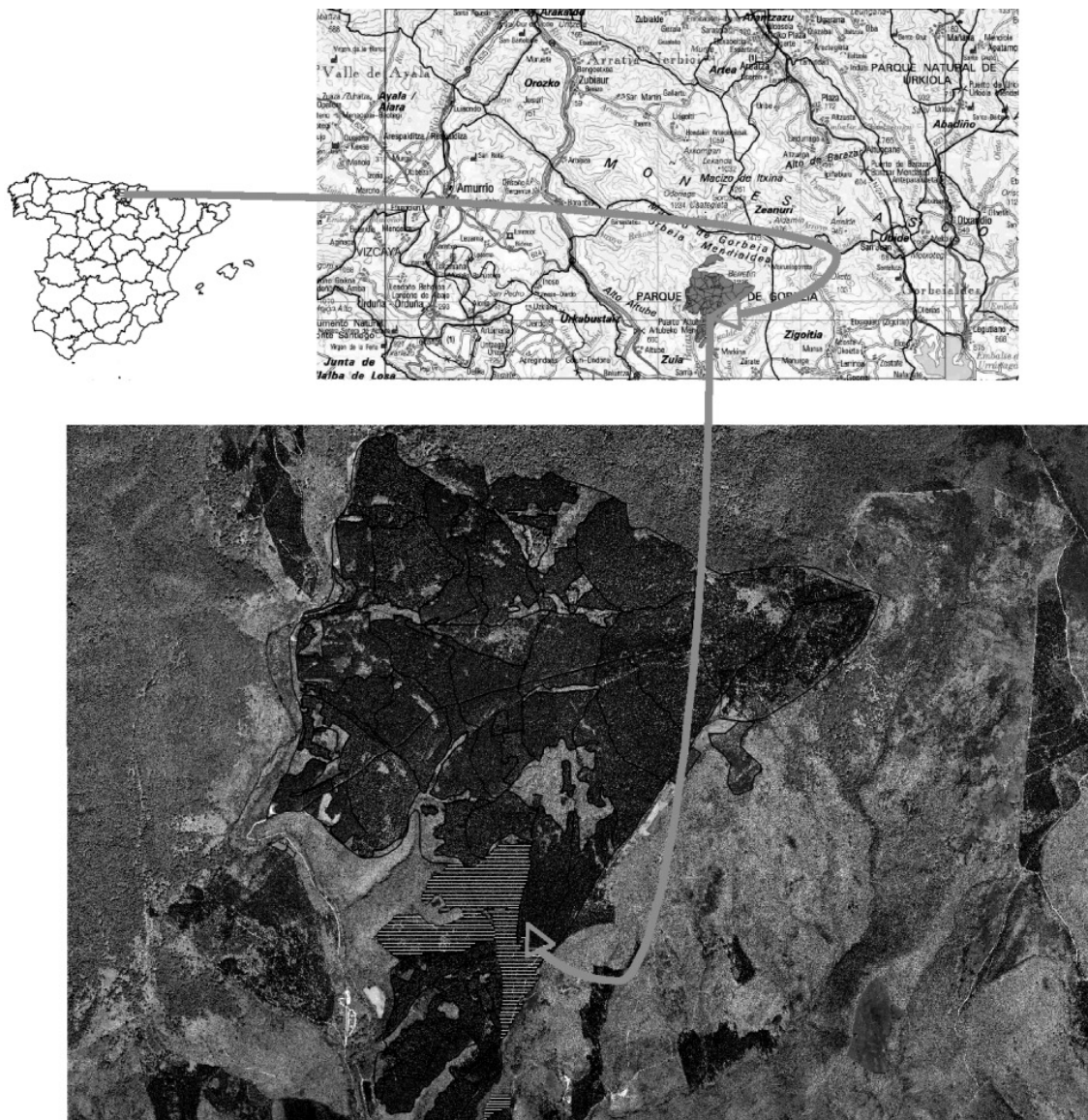


Figura 1. Localización de la zona de estudio

ción al MDS de las cotas del modelo digital del terreno (MDT) se obtiene el Modelo Digital de Copas (MDC). La individualización de árboles y el delineado de sus copas se consiguen siguiendo distintos procesos que se basan en la expansión de cada máximo local del MDC por su zona circundante. Esta forma de operar reduce enormemente el volumen de datos que se manejan pero como contrapartida elimina toda la información contenida en los puntos que se encuentran por debajo de la superficie rasterizada, de forma que no pueden verse los árboles de los estratos inferiores y no pueden sacarse conclusiones en cuanto a la forma ni dimensión vertical de las copas.

En este trabajo se hace la comprobación preliminar de un procedimiento que individualiza las copas de cada árbol desde la nube de puntos sin rasterizar y ofrece resultados de número de pies por hectárea, altura individual y media, superficie de copas y fracción de cabida cubierta sobre cualquier superficie del monte que se quiera estudiar.

MATERIALES Y MÉTODOS

Zona de estudio y datos de partida

La zona de estudio se encuentra en la provincia de Álava, en el Término Municipal de Zuia. El monte estudiado se denomina Berretin y está parcialmente incluido en el Parque Natural del Gorbea. Se encuentra localizado entre las coordenadas UTM 513.197 – 4.758.283 y 517.256 – 4.763.523. El monte tiene 838,18 hectáreas en total. Sólo se aplicó el procedimiento a las masas de coníferas existentes. Se trata de masas de coníferas de *Pinus sylvestris* L., *Pinus nigra* Arnold., *Chamaecyparis lawsoniana* (A. Murray) Parl. y *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco. procedentes de repoblaciones ejecutadas entre los años 1954 y 1959. Las edades en el momento de tomar los datos LIDAR oscilaban entre 49 y 54 años. Para obtener resultados sobre otra especie, se estudio también una parcela de *Pinus radiata* D. Don. de 1,74 hectáreas situada a 100 metros del monte y con una edad de 54 años.

Los datos utilizados en este trabajo corresponden a la nube de puntos LIDAR procedente del vuelo sobre Álava realizado entre el 18/06/2008 y el 10/07/2008. El sensor utilizado registró entre uno y cinco rebotes por cada pulso

emitido. El proceso previo de los puntos obtenidos se realizó por la empresa SIGRID S.L. utilizando para ello los programas de TERRASOLID TerraMatch, V-8 y TerraScan, V-8. Se obtuvo una nube irregular de puntos con una densidad media de 4 puntos por metro cuadrado. Los puntos de la nube estaban clasificados y por tanto había distinción entre puntos de suelo y de vuelo. Se encontraron algunos puntos anómalos que hubo que eliminar. Además de los archivos “.las” se utilizaron las fotografías aéreas correspondientes al vuelo del 2009 y los modelos digitales del terreno de un metro de tamaño de pixel procedentes del mismo vuelo LIDAR y que pueden obtenerse en la página correspondiente del Gobierno Vasco.

Datos de campo

En la parcela de radiata situada fuera del monte se midieron la altura total y el diámetro normal de todos los árboles. De esta manera se conoce con precisión el número total de pies y la altura media de la masa. Para el resto del monte se eligió un rodal por cada una de las otras cuatro especies. En todos la masa era regular con una edad de 54 años salvo en el rodal de abeto de Douglas que era de 49 años. En cada rodal se replantearon y midieron entre 18 y 20 parcelas circulares de 500 m² salvo en el rodal de ciprés de Lawson donde tenían 300 m². En cada parcela se midieron los diámetros de todos los árboles presentes con más de 12,5 cm, la altura de los tres más cercanos al centro de la parcela y la altura de los cinco pies más gruesos. Para cada parcela se calculó la media de la densidad de pies en unidades por hectárea y se calcularon las alturas media y dominante como las medias de los tres más cercanos al centro y los cinco árboles más gruesos medidos en cada una. Estos datos se tomaron durante el mes de abril de 2011 por lo que hay que tener en cuenta el intervalo de 2,5 periodos vegetativos entre la toma de datos LIDAR y la de campo. Se comprobó además que en ninguno de los rodales se hubieran ejecutado claras en este periodo de tiempo. Para cada rodal se estimó la densidad media en pies por hectárea, la altura dominante y la altura media como la media de todas las parcelas del rodal.

Preparación de datos

El primer paso en el tratamiento de datos es su conversión al formato vectorial “.shp” para

que puedan ser usados por los Sistemas de Información Geográfica de uso corriente. Una vez en formato vectorial y dado que el procedimiento desarrollado se aplicará a cada uno de los rodales, se recortó la parte de la nube de puntos que correspondía a cada una de estas divisiones de forma que pudieran ser procesadas individualmente. En este paso se hizo necesaria la eliminación de algunos puntos anómalos.

Para cada rodal, la nube de puntos obtenida debe normalizarse. Este proceso consiste en la resta a la altura de cada punto de la cota de la celda del modelo digital del terreno que tiene en su vertical. Se obtiene así la altura sobre el suelo de cada rebote.

Aplicación del procedimiento desarrollado

Para el tratamiento de los datos preparados según los pasos anteriores, se desarrolló un procedimiento que fue programado en lenguaje SQL como una función para el gestor de bases de datos

POSTGRESQL haciendo uso de las funciones para tratamiento de datos geográficos de POSTGIS. La base de datos de puntos de cada rodal en formato “shp” es cargada como una tabla en POSTGRESQL. Una vez cargada la tabla, la función trabaja según el siguiente esquema.

El procedimiento se repite para cada capa hasta llegar a cinco metros sobre el suelo. De esta manera quedan delineadas las copas de cada árbol individual. Para cada polígono de copa, la función calcula: altura máxima y altura mínima de copa, superficie, número de puntos contenidos y altura de copa. La capa de polígonos de copa y los datos asociados puede ser visualizada y utilizada para otros cálculos en cualquier SIG de licencia libre.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos se resumen en la siguiente tabla

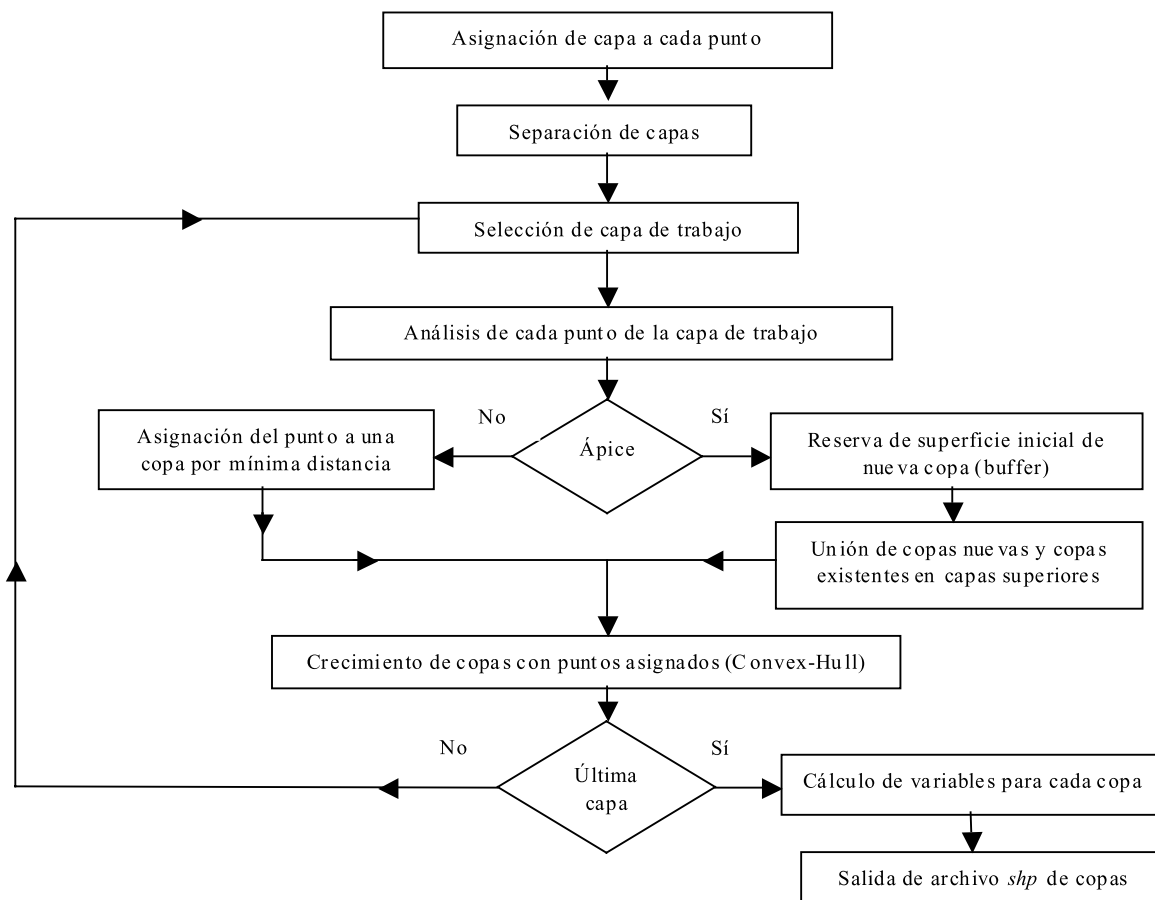


Figura 2. Proceso de delineado de copas mediante función POSTGRES

Rodal	Especie	DATOS DE CAMPO					FUNCIÓN		% ERROR	
		Nº parcelas	Pies·ha ⁻¹	s	Altura media	s	Pies·ha ⁻¹	Altura media	Pies·ha ⁻¹	Altura media
26	<i>Ps. menziesii</i>	20	271	79,3	23,7	5,73	297	21,8	9,6%	8%
31	<i>C. lawsonian</i>	20	724	194,8	20,7	2,98	745	18	2,9%	13%
34	<i>P. sylvestris</i>	19	414	108,1	19,3	1,54	422	17,3	1,9%	10,3%
25	<i>P. nigra</i>	18	397	66,6	24,8	2,53	434	21,4	9,3%	13,7%
-	<i>P. radiata</i>	completo	247	-	33,7	-	256	33	3,6%	2%

Tabla 1. Comparación entre resultados de campo y resultados obtenidos por aplicación del procedimiento

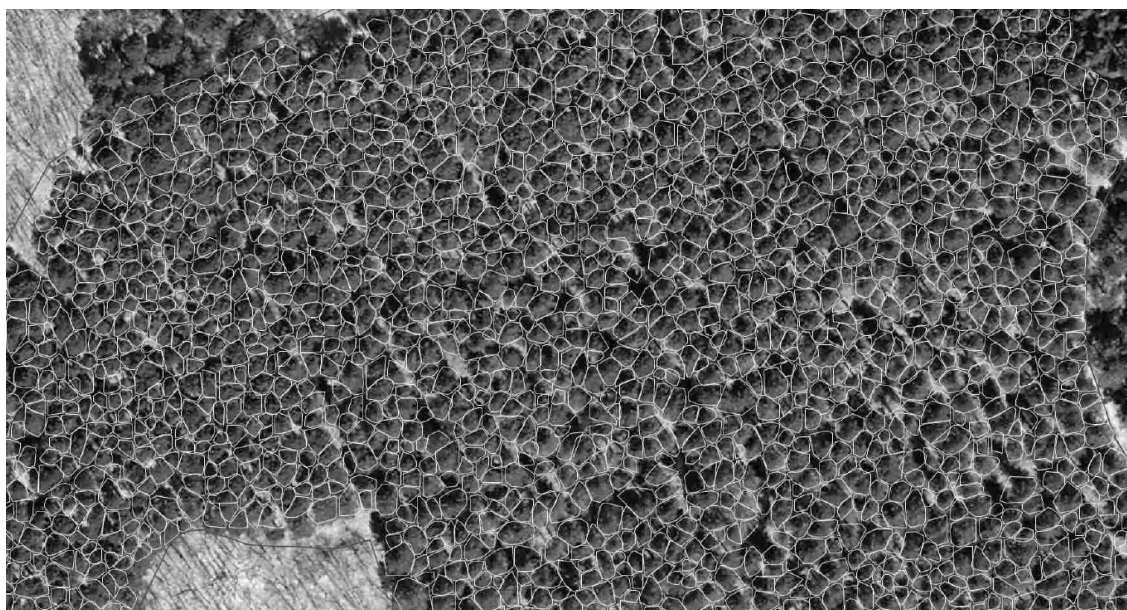


Figura 2. Resultado de la delineación de copas sobre pino laricio

El ajuste en la delineación de las copas y por tanto en todos los resultados obtenidos, depende de los dos parámetros que determinan el espacio inicial ocupado por una copa y la consideración de un punto como nuevo ápice. Este par de valores varía para cada especie y situación selvícola. El establecimiento de los valores de estos dos parámetros se está estudiando en estos momentos para especies, densidades y condiciones selvícolas distintas de las tratadas en este artículo y se espera encontrar resultados en poco tiempo. En posteriores ajustes del método se evaluará la mejora que pueda aportar al procedimiento la utilización de valores variables para estos parámetros según la altura de cada árbol.

Al conservar toda la información de los puntos en cada altura, el método permite establecer el porcentaje de puntos de la copa contenidos en cada capa de un metro en las que se segmentó la

nube de puntos inicial de forma que se puede establecer un perfil típico para cada especie y situación y localizar ápices de pies sumergidos o de estratos inferiores. En estos momentos se está investigando también en esta línea.

La subestimación obtenida en el valor de la altura media es típica de todos los métodos de medida de árboles mediante datos LIDAR. La comisión de este error es inevitable y se produce por la escasa probabilidad de que un pulso impacte exactamente en el ápice del árbol. Este error se hace mayor cuanto mayor es la pendiente de la superficie que define la copa del árbol. Además hay que tener en cuenta el crecimiento en altura que hayan podido tener los árboles entre la toma de datos LIDAR y las mediciones de campo. No obstante lo anterior, la altura verdadera es fácilmente calculable gracias a la alta correlación que guarda con la altura obtenida por la función.

CONCLUSIONES

El procedimiento desarrollado mediante la utilización de software de licencia libre permite estimar con precisión superior al 90% el número de árboles en las condiciones de masa estudiadas para cualquier extensión de superficie forestal. La superficie de copa de cada uno de ellos se encuentra determinada por el número de puntos que encierran y es muy precisa puesto que sólo aquellos lugares en los que no existan rebotes en copas quedarán fuera de éstas. Esto permite calcular la fracción de cabida cubierta con mayor precisión que la estimación visual hecha en campo. Además, el método permite estimar las alturas de cada pie como la del punto de mayor cota dentro de su copa. Con estos datos obtenidos para cada pie y para la masa en general se pueden calcular el valor de las variables que se obtendrían por inventario tradicional con un coste mucho menor y en un tiempo más reducido. Al basarse en la delimitación de las copas de cada árbol individual, el método se puede aplicar tanto a montes enteros como a divisiones y subdivisiones de éstos sin que se reduzca su precisión.

BIBLIOGRAFIA

- CUASANTE, D. Y GARCÍA, C.; 2009. Estimación de recursos forestales con tecnología LIDAR aerotransportada. Aplicación práctica en varios montes de la Provincia de Burgos. *En: S.E.C.F.-Junta de Castilla-León (eds.), Actas 5º Congreso Forestal Español*. CD-Rom. 5CFE01-544: 2-13. Sociedad Española de Ciencias Forestales. Pontevedra.
- CONDES, S. Y RIAÑO, D.; 2005. El uso del escáner laser aerotransportado para la estimación de la biomasa foliar del *Pinus sylvestris* L. en Canencia (Madrid). *Cuad. Soc. Esp. Cienc. For.* 19: 63-70.
- KINI, A.U. & POPESCU, S.C.; 2004. *Treewav: a versatile tool for analysing forest canopy LIDAR data: A preview with an eye towards future*. SPRS Images to Decision: Remote Sensing Foundation for GIS Applications. Kansas City.
- KOCH, B.; HEYDER, U. & WEINACKER, H.; 2006. Detection of Individual Tree Crowns in Airborne LIDAR Data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 72(4): 357-363
- PALOMINO, M.P.; 2009. *Algoritmo para la localización y estimación de masa forestal a partir de imágenes LIDAR*. Proyecto fin de master en Sistemas Inteligentes. Facultad de Informática. Universidad Complutense de Madrid. Madrid.
- RAHMAN, M.Z. & GORTE, B.G.; 2009. *Tree crown delineation from high resolution airborne LIDAR based on densities of high points*. ISPRS workshop Laserscanning 2009. Paris.
- SUÁREZ, J.; DI LUCCA, M.; GOUDIE, J.; POLSSON, K.; XENADIS, G.; GARDINER, B. & PERKS, M.; 2009. *An individual canopy delineation algorithm based on object-oriented segmentation and classification*. *Silvilaser 2009*. College Station. Texas.
- WANG, Y.; WEINACKER, H. & KOCH, B.; 2008 A LIDAR point cloud based procedure for vertical canopy structure analysis and 3D single tree modelling in forest. *Sensors 2008*, 8: 3938-3951.
- ZHAO, K. & POPESCU, S.C.; 2007. *Hierarchical watershed segmentation of canopy height model for multi-scale forest inventory*. ISPRS Workshop on Laser Scanning 2007 and SilviLaser 2007. Espoo. Finland.