



2025 | **16-20**
GIJÓN | JUNIO

9º CONGRESO **FORESTAL** ESPAÑOL

9CFE-1725

Organiza





Comparativa entre inventario sistemático tradicional e inventario Lidar en los Instrumentos de Ordenación Forestal: ejemplo de dos montes en Castilla y León

ROJO GONZÁLEZ, L.I. (1), BENGUA, J. (1), PÉREZ PÉREZ, E (2), GÓMEZ FERNÁNDEZ, M. (1)

(1) Dirección General de Patrimonio Natural y Política Forestal, Consejería de Medio Ambiente, Vivienda y Ordenación del Territorio, Junta de Castilla y León

(2) Ingeniería y Desarrollo Forestal.

Resumen

Se comparan los resultados obtenidos mediante inventario tradicional e inventario Lidar en dos montes de *Pinus pinea* de Valladolid en el marco de dos instrumentos de ordenación forestal.

La comparación incluye, en primer lugar, aspectos relativos a la precisión y eficiencia de ambas alternativas en la cuantificación de variables dasométricas para la caracterización de la masa forestal.

En segundo lugar, se analiza qué aspectos quedan mejor y peor caracterizados con ambas alternativas, no sólo de cara a la cuantificación de volúmenes sino, también, con la mirada puesta en el resto de objetivos que cumplen los instrumentos de ordenación forestal.

Las parcelas de campo del inventario tradicional proceden de muestreos sistemáticos realizados en mallas de 200 x 200 m con parcelas circulares de 15 m de radio y el inventario Lidar procede del proyecto dasolidar de la D.G. de Patrimonio Natural y Política Forestal de Castilla y León (elaborado a partir del vuelo Lidar PNOA-2 y las parcelas del IFN-4).

Palabras clave

Inventario forestal, lidar, digitalización, dasolidar, PNOA, ordenación forestal, gestión forestal, IFN4

1. Introducción

Conceptos relativamente modernos como digitalización, big data, inteligencia artificial o teledetección están entrando de lleno en el mundo forestal desde hace años. Y están aportando una ingente cantidad de datos, así como herramientas para tratarlos. En términos de grandes escalas, estas nuevas herramientas resultan imprescindibles. Sin embargo, su utilidad a escala monte está aún por terminar de definirse. Y los inventarios tradicionales por muestreo sistemático aún se realizan en algunas ocasiones.

Durante el año 2024, en el contexto de la redacción de dos instrumentos de ordenación forestal (IOF) donde se optó por llevar a cabo, en ambos montes, un inventario por muestreo sistemático, se ha presentado la oportunidad de comparar los inventarios con los datos obtenidos de Lidar.



Si bien la digitalización, en sentido amplio, aporta posibilidades impensables hace unos años, en la gestión cotidiana de los montes a escala individual estas herramientas no sustituyen -ni posiblemente puedan hacerlo en el medio plazo- a los datos, tanto cuantitativos como cualitativos, aportados por la realización de visitas sistemáticas de campo por parte de los profesionales forestales. Resulta, por tanto, imprescindible complementar ambas metodologías, buscando el adecuado encaje tanto desde el punto de vista económico como técnico. La comparación efectuada en este trabajo nos abre puertas a la definición de las posibilidades de una y otra metodología.

2. Objetivos

Comparar los resultados obtenidos mediante inventario tradicional e inventario Lidar en dos montes de *Pinus pinea* de Valladolid y analizar qué aspectos quedan mejor y peor caracterizados con ambas alternativas

3. Metodología

3.1. Descripción de los montes

Los montes objeto del trabajo se sitúan en la comarca natural de la Tierra de Pinares Vallisoletana, en los términos municipales de Ramiro y San Pablo de la Moraleja. Ambos son montes incluidos en el Catálogo de los de Utilidad Pública de la provincia de Valladolid, con los siguientes datos:

- M.U.P. nº 52, denominado *Pinar*, propiedad del Ayuntamiento de Ramiro, con 152 hectáreas de superficie pública.
- M.U.P. nº 56, denominado *Pinar Hondo*, propiedad del Ayuntamiento de San Pablo de la Moraleja, con 138 hectáreas de superficie pública.

Se trata de dos montes con fisiografía casi absolutamente llana, sobre sustrato arenoso, y poblados en su práctica totalidad por pino piñonero (*Pinus pinea*).

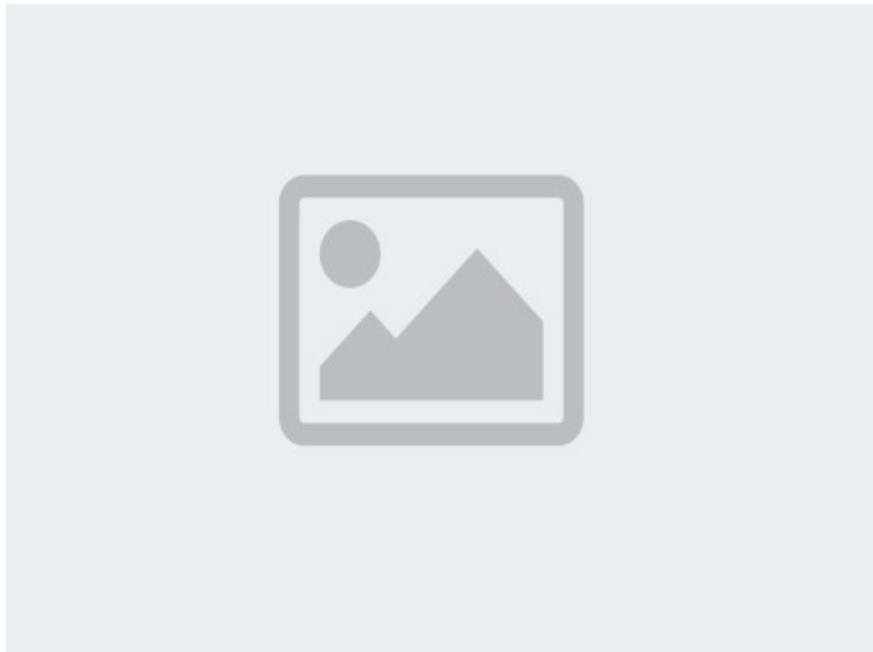


Figura 1: Imagen del tipo de masa característico del MUP nº 52 (Ayto de Ramiro)

Si bien las planificaciones que se han redactado corresponden en los dos casos a la segunda revisión del proyecto de ordenación, la historia de su gestión se remonta muchas décadas, habiéndose aprobado el documento inicial en 1965, en el caso del monte de U.P. nº 52; y en 1967 en el del monte nº 56. Se trata, por tanto, de montes largamente gestionados, pese a su pequeña dimensión.



La caracterización de la estructura de una masa forestal, durante el trabajo desarrollado en un IOF, debe enfocarse a la obtención de aspectos tanto cualitativos como cuantitativos. En el primer caso, información cualitativa, el Informe Selvícola se ha estandarizado como la herramienta para recoger esta información.

3.2. Inventario tradicional

De acuerdo con lo señalado en las propuestas de ejecución por el promotor (la Junta de Castilla y León), el inventario realizado ha respondido a los siguientes parámetros:

El tipo de **muestreo** realizado es el **sistemático estratificado**, por adaptarse bien a las características de los inventarios forestales. El muestreo sistemático se diseñó a partir de una **malla cuadrada** en cuyos nudos se ubicaron las parcelas de muestreo, circulares y de 15 metros de radio. La ubicación de las parcelas se realizó sobre los planos topográficos a escala 1/10.000, con ayuda de fotografías u ortofotografías recientes a escala 1:5.000 o 1:10.000 en color. En las zonas de pinar en regeneración la malla tiene 200 metros de lado, con una densidad aproximada de 1 parcela cada 4 ha, resultando una intensidad de muestreo aproximada del 2%. Estas parcelas se corresponden con las denominadas Parcelas de Inventario Complejas con limitaciones a la ejecución bajas, y en todas se efectuaron mediciones sobre una submuestra de cuatro árboles.

Se consideró que, en el caso de que una parcela interceptara un camino, raso (superficie mayor de 0,5 ha) etc., ésta se debía desplazar la distancia suficiente, no sólo para evitar la causa del desplazamiento sino, también, para evitar el efecto borde asociado, siendo este el caso en varias parcelas. No se situaron parcelas a menos de 30 metros del límite del monte o de la causa del desplazamiento para evitar el efecto borde.

En cuanto a los **datos cuantitativos**, la información se recoge durante el trabajo de campo y/o inventario, la cual nos permite obtener información suficiente para tomar las mejores decisiones de cara a la gestión y planificación. En esa fase de toma de datos, se miden las principales variables dendrométricas, tales como, diámetros, alturas, edades y/o crecimientos.

En todos los árboles incluidos en cada parcela se midió el diámetro a 1,30. Y en una submuestra de cuatro árboles en cada parcela se midió:

- Dos diámetros normales perpendiculares entre sí (cm), el primero en dirección al centro de la parcela.
- Altura total (m) y altura de la primera rama viva (m), con precisión decimétrica.
- Crecimiento radial de los últimos diez años (mm) y edad únicamente en dos árboles.



En el ámbito de la gestión forestal, los **datos cualitativos** desempeñan un papel crucial en la toma de decisiones, complementando la información cuantitativa obtenida en los inventarios forestales. En el caso que nos ocupa, estos datos cualitativos fueron recopilados durante el trabajo de campo y comprenden los siguientes aspectos:

- **Daños en la masa forestal:** Identificación y evaluación de los daños provocados por plagas, enfermedades o fenómenos naturales.
- **Caracterización del regenerado:** Evaluación del estado y distribución de la regeneración natural de las especies arbóreas.
- **Fracción de Cobertura Cubierta (FCC):** Estimación visual de la cobertura arbórea y arbustiva en la masa forestal.
- **Matorral:** Análisis de las especies presentes, porcentaje de cobertura y altura media.
- **Caracterización del pastizal:** Identificación de las principales especies presentes en la zona.
- **Fenómenos erosivos:** Identificación de procesos de erosión que puedan comprometer la estabilidad del suelo.
- **Pedregosidad y afloramientos rocosos:** Registro de la presencia y distribución de elementos rocosos en el terreno.
- **Modelo de combustible:** Clasificación del modelo de combustible según su potencial comportamiento frente a incendios forestales.
- **Hidromorfismo:** Identificación de características del suelo relacionadas con condiciones de saturación hídrica.
- **Tratamientos realizados:** Documentación de las intervenciones forestales previas, como podas, clareos o cortas.
- **Tratamientos propuestos:** Proyección de acciones futuras necesarias para la mejora y conservación de la masa forestal.
- **Infraestructuras presentes:** Registro de infraestructuras existentes, su estado de conservación y las actuaciones necesarias para su mantenimiento o mejora.
- **Edad del arbolado:** La especie que puebla ambos montes es, muy probablemente, la especie de conífera ibérica en la que peor se relacionan las variables edad-dimensión, por lo que la obtención de estos datos resulta fundamental para la gestión de la masa arbolada y la previsión de las actuaciones de regeneración y son muy difíciles de estimar a través de inventarios Lidar.

La recopilación de esta información cualitativa permite obtener una visión integral del estado de la masa forestal, facilitando el diseño de estrategias de manejo sostenibles y adaptadas a las necesidades específicas de los distintos montes.

La medición de las variables forestales indicadas, fundamentalmente diámetros y alturas, durante el muestreo nos ha permitido la obtención de parámetros dasométricos concretos utilizados, entre otras cosas, para la cuantificación de los aprovechamientos y mejoras planificadas en el IOF. Esta información se ha empleado para estimar el número de pies, área basimétrica, volumen y/o crecimiento.



Para este análisis, se han empleado los parámetros dasométricos del 4º Inventario Forestal Nacional, en concreto, las tarifas de cubicación que describe para el pino piñonero (*Pinus pinea*) y, según cada caso, la encina (*Quercus ilex*) en función de sus formas de cubicación. Las alturas se han estimado usando las ecuaciones alturas-diámetros obtenidas a partir de los árboles que conforman cada submuestra:

1.- Para la submuestra del monte 52:

Monte 52: $\text{alt} = (0,0191 * \text{diam}) + 2,9249$ (alt en metros y diam en mm)

2.- Para la submuestra del monte 56:

Monte 56: $\text{alt} = (0,0174 * \text{diam}) + 3,4183$ (alt en metros y diam en mm)

El empleo de estas tarifas a partir de los datos tomados durante el inventario permite determinar, para cada una de las parcelas de muestreo y clase diamétrica, los parámetros: número de pies (N), área basimétrica (AB), volumen con corteza (VCC), volumen sin corteza (VSC), volumen de leñas gruesa (VLE) y crecimiento corriente anual (CC). Posteriormente, a partir de esta información “unitaria” se ha avanzado en el cálculo de existencias del resto de niveles de la división dasocrática: monte, cuartel, rodal y subrodal, empleando estos valores ponderados por la superficie de cada nivel analizado.

3.3. Inventario Lidar

Los resultados del inventario Lidar que se recogen en este trabajo se han extraído del proyecto dasolidar de la Junta de Castilla y León, destinado a generar métricas Lidar de interés en medio natural para Castilla y León y estimar variables dasométricas a partir de ellas.

Aunque no es objeto de esta comunicación explicar los detalles de este proyecto, a continuación, se dan algunas claves. Su objetivo principal es estimar variables dasométricas a partir de métricas Lidar para todas las masas arboladas de Castilla y León. En el momento de redacción de esta comunicación, este proyecto se encuentra en su fase beta y a fecha de celebración del Congreso Forestal se encontrará en fase operativa y podrá consultarse en internet (<https://medioambiente.jcyl.es/web/es/medio-natural/gestion-forestal.html> y <https://www.researchgate.net/profile/Jose-Bengoa/publications>).

El procedimiento seguido es el habitual en este tipo de trabajos, que relacionan métricas Lidar con variables dasométricas de masa usando para ello datos de parcelas de campo. Los modelos obtenidos se usan para estimar las variables



dasométricas en el conjunto del territorio, en el cual se han calculado dichas métricas Lidar en celdas de 10x10 m.

Esta relación entre métricas Lidar y variables dasométricas y su aplicación en la evaluación de los recursos forestales se viene usando desde hace casi 30 años, empezando por los trabajos clásicos de los escandinavos Næsset (1997, 2002) y Hyypä et al. (2000), así como otros de esa misma época, como Means et al. (1999, 2000) y trabajos que trasladan este tipo de técnicas a otros objetivos de caracterización de la estructura de la masa, como los de Sun & Ranson (2000) o Lefsky et al. (2002). Estas iniciativas llegaron a España principalmente de la mano de Bloom (Cuasante, 2007; Aasland, 2007), con la colaboración de los citados autores escandinavos. Desde entonces son numerosos los trabajos publicados en este campo, entre los que cabe citar la revisión de algunos de los autores mencionados (Hyypä et al., 2008) y trabajos realizados en España como los de Ruiz et al. (2014), Cabrera et al. (2014) o Fernández & Tome (2015a, 2015b) entre otros.

El proyecto dasolidar utiliza principalmente dos fuentes de información:

- El vuelo Lidar-PNOA2 realizado entre 2017 y 2021 coordinado y procesado por el IGN y la Junta de Castilla y León.
- Las parcelas del 4º IFN, coordinado por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.

En esta primera fase del proyecto dasolidar se han seleccionado 7 variables dasométricas de masa[1] y 31 métricas Lidar basadas en percentiles de alturas y en porcentajes de retornos correspondientes a determinados rangos y condiciones. No se han incluido métricas basadas en indicadores de irregularidad horizontal ni dispersión vertical más allá de las que se obtienen a partir de percentiles y porcentajes de retornos porque en un primer análisis de correlaciones no parecían aportar mejoras respecto a estas. En cada ajuste, la selección de variables explicativas (métricas lidar) se ha llevado a cabo mediante el método paso a paso forward usando el Akaike (AIC) como criterio de selección de variables.

De las métricas candidatas a ser utilizadas en las regresiones, 12 están calculadas a partir de las nubes de puntos Lidar y las 19 restantes se han obtenido a partir de esas 12, aplicando transformaciones que mejoran la linealidad de la relación con las variables explicadas (variables dasométricas).

Las métricas Lidar se han obtenido para cada celda de 10x10 m, siguiendo una malla alineada con las coordenadas UTM H30 en los múltiplos de 10 m. Para los ajustes, las unidades muestrales son las parcelas del IFN4 por un lado y los correspondientes grupos de celdas de la malla 10x10 cuyo centro está en el círculo de 10/15/25 m de radio de la parcela IFN4[2]. Por lo tanto, los ajustes no se hacen a nivel de celda sino de parcela y los indicadores de la calidad de la inferencia se refieren a esta unidad muestral (promedio de 12 celdas).



Se han considerado un total de 53 espacios muestrales o estratos que se caracterizan por su ámbito territorial, su especie principal y, en casos puntuales[3], el estado vegetativo en la fecha del vuelo Lidar. Se han considerado 15 especies[4] y 11 zonas distintas[5] que, dependiendo de la especie, se agrupan para trabajar con ámbitos territoriales más amplios con objeto de disponer de suficientes parcelas para las regresiones[6].

En resumen, dasolidar incluye 371 modelos de regresión con una media de 180 parcelas por modelo. Los modelos con menos parcelas son tres de *Quercus pyrenaica* de ámbito territorial restringido, en los que ha sido necesario separar las zonas voladas con hoja y sin hoja (29-31 parcelas / modelo), teniendo el resto de los ajustes un mínimo de 61 parcelas disponibles para los ajustes. El número de variables explicativas se ha limitado a un máximo de seis en cada ajuste (son distintas en cada modelo), habiéndose obtenido todo el rango de 2 a 6 variables explicativas seleccionadas por modelo (criterio AIC).

Los dos montes objeto de este trabajo están incluidos en el estrato de '*Pinus pinea* en Páramos calizos y pinares centro', que cuenta con 353 parcelas. El modelo obtenido para el volumen con corteza en este ámbito muestral es el siguiente:

$$VCC = 2.0791 + (0.001359 * V1) + (0.041855 * V2) + (16.246 * V3) + (0.00020645 * V4) - (0.0051762 * V5)$$

Donde:

V1: (Alt80_cm**1.7)

- Alt80_cm: percentil 80 de la altura de los primeros retornos sobre el suelo en cm

V2: (Cob5m_PRT**1.7)

- Cob5m_PRT: porcentaje de primeros retornos que están a más de 5 m sobre el suelo.

V3: (V3a / (V3b + 1.0))

- V3a: CobEstr_MidHD_TopHD_TLR (porcentaje de retornos que están a una altura sobre el suelo superior a la mitad de la altura dominante Lidar (percentil 95)
- V3b: CobEstr_050cm_TopHD_TLR (porcentaje de retornos que están a más de 50 cm sobre el suelo).

V4: (Alt100_cm**1.7)

- Alt100: altura máxima sobre el suelo en cm

V5: (Alt80_cm**1.5)

- Alt80_cm: percentil 80 de la altura de los primeros retornos sobre el suelo en cm

** : significa "elevado a la potencia"

Este ajuste tiene un RMSE[7] de 17,6 m³/ha (ver detalles en la documentación del proyecto dasolidar). Con este ajuste y la cartografía de las métricas que usa como



variables explicativas se ha estimado el volumen con corteza de cada celda 10x10 m.

3.4. Fuentes de error

Las principales fuentes de error en ambas metodologías son:

1. Inventarios tradicionales por muestreo:

1.a. Error de muestreo: la media muestral es un estimador de la poblacional y tiene su correspondiente varianza.

1.b. Sesgo de elección de muestra: relacionado con el criterio usado para ubicar y/o seleccionar las parcelas.

1.c. Calidad de las mediciones y de los cálculos de variables dasométricas de parcela.

2. Inventarios basados en Lidar:

2.a. Error de ajuste: relacionado con la capacidad predictiva de las variables explicativas y la calidad de los ajustes.

2.b. Sesgo geográfico: debido al hecho de que el monte objeto de estudio pueda estar en una situación marginal dentro del espacio muestral para el que se construyen las regresiones.

2.c. Consistencia de las métricas Lidar: hay factores que hacen que los vuelos lidar puedan no ser homogéneos (fenología, densidad, características del emisor/sensor, etc.) y las métricas Lidar pueden ser más o menos sensibles a estas diferencias, lo que puede tener consecuencias sobre las variables dasométricas explicadas.

2.d. Calidad de las mediciones y de los cálculos de variables dasométricas de parcela.

En esta comunicación no se abordan ni el sesgo geográfico (ver documentación del proyecto dasolidar) ni la consistencia de las métricas lidar (ver Tomé et al., 2025).

4. Comparativa de resultados

4.1. Comparativa a escala de monte

En la Tabla 1 se comparan las estimaciones del volumen por hectárea obtenidas con los dos tipos de inventario:

Tabla 1. Comparativa de volúmenes estimados a escala monte

Monte UP nº 52			Monte UP nº 56		
Inventario tradicional	55 m	³	/ha	62 m	³ /ha
Inventario Lidar	49 m	³	/ha	51 m	³ /ha

Tanto el muestreo tradicional como el apoyado en Lidar tienen fuentes de error, por lo que ninguna de las dos puede considerarse como verdad absoluta. En el apartado 4.3. se comparan los intervalos de confianza para ambas estimaciones.

4.2. Comparativa parcela a parcela

Si comparamos la estimación de volúmenes parcela a parcela obtenemos un resultado parecido al de la Tabla 1.

Tabla 2. Comparativa de volúmenes estimados promediando parcelas

Monte UP nº 52			Monte UP nº 56		
Inventario tradicional	55 m	³	/ha	62 m	³ /ha
Inventario Lidar usando la malla del inventario tradicional	51 m	³	/ha	52 m	³ /ha

En esta tabla, los volúmenes del inventario Lidar se han obtenido usando el modelo Lidar para estimar el volumen en cada una de las parcelas del inventario tradicional. El ligero sesgo de elección de la muestra, que se comenta más adelante, puede haber dado lugar a una pequeña sobreestimación de las existencias.

Si hacemos la misma estimación Lidar, pero usando parcelas ubicadas estrictamente en la malla 200x200 m (coordenadas UTM exactas) obtenemos el resultado de la Tabla 3.

Tabla 3. Volúmenes estimados promediando parcelas sistemáticas

Monte UP nº 52			Monte UP nº 56		
Inventario Lidar con muestreo en una malla 200 x 200 m estricta	49 m	³	/ha	50 m	³ /ha

4.3. Intervalos de confianza



a. Inventario tradicional

El error de muestreo asociado al inventario tradicional se puede obtener a partir de las cuasi-desviaciones típicas muestrales ($s= 10,4$ y $13,4 \text{ m}^3/\text{ha}$ para los montes 52 y 56 respectivamente), el tamaño muestral ($n= 39$ y 36) y los correspondientes valores de la t de Student ($t= 2,03$ para esos n y $\alpha=0.05$). El intervalo de confianza del 95% para estas estimaciones es $\pm t*s/\sqrt{n} = 3,4$ y $4,6 \text{ m}^3/\text{ha}$ respectivamente.

Tabla 4. Intervalos de confianza en el muestreo tradicional

Monte UP nº 52			Monte UP nº 56		
Inventario tradicional	51-58 m ³	/ha	58-67 m ³	/ha	

Además, los IOFs pueden incorporar otra fuente de error que es la representatividad de la muestra: si las parcelas no se han ubicado siguiendo criterios adecuados[8] se obtienen muestras no representativas de la población que dan lugar a sesgos en las estimaciones (sesgo de elección de muestra).

En estos inventarios, una vez decido el radio de las parcelas (15 m) y su malla (200 x 200 m), se ha modificado ligeramente la posición concreta de las parcelas para que cumplan la condición de que incluyan al menos 15 pies (ver artículo 49 de las IGOMA[9]). Esto ha dado lugar, en este caso, a que el inventario por muestreo proporcione una ligera sobreestimación de las existencias de ambos montes. En general, cualquier criterio que prime la ubicación de las parcelas en zonas de mayor densidad de arbolado o que excluya las parcelas que caen en zonas rasas que no han sido previamente excluidas del muestreo, da lugar a sobreestimaciones de las existencias.

b. Inventario Lidar

El punto de partida para estimar los intervalos de confianza asociados al error de regresión es el error cuadrático medio residual (MSE) con el que se estiman los intervalos de confianza para las estimaciones individuales de la variable explicada. Cuando hablamos de estimaciones individuales, nos referimos a las de las unidades muestrales (grupos de varias celdas 10x10, por término medio 12 celdas). [10]

Cuando ampliamos la superficie en la que estimamos el volumen (rodal, estrato, monte, etc.), el error asociado es inferior, ya que el aumento de la muestra conlleva una reducción de la varianza. Eso implica que cuanto mayor sea dicha superficie, más se aproximará el intervalo de confianza de la media muestral al de la media poblacional[11], pero nunca se alcanzará ese valor, salvo que se abarque todo el espacio muestral con el que se ha construido la regresión.

Para estimar los intervalos de confianza en esta comparativa se ha adoptado una estrategia simplificada, asumiendo que las variables explicativas están bastante centradas respecto a sus rangos de validez. El planteamiento se basa en la estimación de la desviación típica de las medias muestrales, que se obtiene a partir de la cuasi desviación típica (muestral) dividida por \sqrt{n} . Esto sólo es válido cuando las unidades muestrales son independientes, pero no es el caso debido a la autocorrelación espacial. En consecuencia, se sustituye el número de unidades muestrales (n) por el número de unidades muestrales equivalentes (k).

La autocorrelación espacial se produce porque dos parcelas contiguas no son independientes entre sí y no aportan la misma información que dos parcelas lejanas o seleccionadas aleatoriamente en todo el espacio muestral (no tienen los mismos grados de libertad). El análisis de la autocorrelación espacial y, especialmente, de su influencia en la generación de intervalos de confianza es complejo y no se aborda en esta comunicación.

En resumen, la desviación típica de la media muestral se ha obtenido dividiendo el RMSE[12] por $1/\sqrt{k}$, siendo k el número equivalente de “muestras independientes”. En este trabajo asumimos una “muestra independiente” por cada 4 ha, con lo que la desviación típica de la media muestral es igual al RMSE dividido por $\sqrt{(\text{Sup_ha} / 4)}$. Los detalles del cálculo se recogen en la documentación del proyecto dasolidar.

En la Tabla 5 se recoge una estimación de los intervalos de confianza asociados a esta fuente de error y se compara con los intervalos anteriormente obtenidos para el inventario tradicional.

Tabla 5. Comparativa de intervalos de confianza

Monte UP n° 52			Monte UP n° 56		
Inventario tradicional	51-58 m	³	/ha	58-67 m	³ /ha
Inventario Lidar	42-56 m	³	/ha	44-58 m	³ /ha

Aunque las diferencias entre ambas estimaciones del volumen no son elevadas (6 y 11 m³/ha), invitan a buscar otros factores que han podido influir en esas diferencias y no han sido analizados en esta comunicación. Tal es el caso de la obtención de las variables dasométricas de las parcelas y del sesgo geográfico (podría llevar a rediseñar estratos y recalcular modelos).

5. Discusión



El presente trabajo ha permitido comparar dos enfoques diferentes para la cuantificación y caracterización de masas forestales de pino piñonero en zonas de la Meseta: el inventario tradicional por muestreo sistemático y el inventario basado en tecnología Lidar. Los resultados obtenidos han detectado variaciones entre cada metodología, sin que en ningún caso sean especialmente relevantes. Se destacan alguno de los principales aspectos:

1. Precisión y eficiencia:

- El inventario tradicional presentó una estimación del volumen por hectárea superior a la del inventario basado en Lidar (55 m³/ha frente a 49 m³/ha en el monte UP nº 52 y 62 m³/ha frente a 51 m³/ha en el monte UP nº 56).
- La metodología Lidar destaca por su capacidad para generar estimaciones con alta resolución espacial a partir de mallas de celdas de 10x10 m, lo que permite obtener una imagen completa del territorio en menos tiempo y con menor coste operativo.

2. Aspectos cualitativos y cuantitativos:

- El inventario tradicional permite obtener información cualitativa detallada de la masa forestal (estado del matorral, fenómenos erosivos, tratamientos realizados, etc.) que es fundamental para la toma de decisiones en la gestión forestal.
- El inventario Lidar, si bien tiene limitaciones en la recopilación de datos cualitativos, aporta su capacidad para estimar algunas variables dasométricas con una mayor cobertura espacial. Aunque en los montes objeto de estudio no se ha considerado conveniente realizar la estratificación de la masa – dada la regularidad de las mismas-, por otras experiencias, se considera que esta tecnología es fundamental como un elemento de apoyo cartográfico para llevar a cabo esta clasificación, lo que permite al gestor definir las actuaciones y tomar las oportunas decisiones según los objetivos de gestión y el estado de desarrollo de la masa para cada lugar.

6. Conclusiones

La tecnología Lidar representa una herramienta innovadora y altamente eficiente. No se han detectado diferencias importantes en la estimación de volúmenes y esto es coherente con la experiencia acumulada hasta el momento en este campo. Este hecho, junto con otras ventajas adicionales de esta tecnología, como la resolución espacial y el ahorro de costes, hace que sea una herramienta fundamental para la planificación forestal.

El ahorro económico asociado al inventario Lidar puede ser fundamental para el desarrollo de la planificación forestal en masas que tienen una menor intensidad de gestión, o con producciones de bajo valor económico.



La información que puede aportar el inventario Lidar no alcanza diversos aspectos que deben evaluarse en campo o no es capaz de estimarlos con precisión adecuada. Algunos de ellos se recogen en esta comunicación: edades, presencia de regenerado, situación fitosanitaria, tratamientos realizados, fenómenos erosivos, etc.

Todo ello pone de manifiesto que la ordenación forestal debe integrar adecuadamente las distintas técnicas disponibles, aprovechando las ventajas de cada una y adaptándolas a los nuevos escenarios tecnológicos y de necesidades de gestión.

7. Agradecimientos

A los Agentes Medioambientales de las comarcas de Olmedo y Medina del Campo por compartir sus experiencias en gestión forestal.

8. Bibliografía

ASSLAND, T. 2007. Aplicación práctica del LiDAR en inventarios forestales. Seminario: Cuantificación de los recursos forestales con tecnología Lidar aerotransportada . Santander, 8 de noviembre de 2007.

CABRERA, J.; LAMELAS, M. T.; MONTELEGRE, A. L. & RIVA, J. DE LA (2014). "Estimación de variables dasométricas a partir de datos LiDAR." Congreso TIG.

CUASANTE, D. 2007. Inventarios forestales con lidar en España. Experiencias piloto. Seminario: Cuantificación de los recursos forestales con tecnología Lidar aerotransportada . Santander, 8 de noviembre de 2007.

FERNÁNDEZ, A., & TOMÉ, J. L. (2015a). Inventario Forestal con tecnología LiDAR de los vuelos PNOA. Resultados y reflexiones tras cinco años de inventario forestal con tecnología LiDAR.

FERNÁNDEZ, A., & TOMÉ, J. L. (2015b). Inventario Forestal con tecnología Lidar de los vuelos PNOA (presentación AGRESTA).

LEFSKY, M. A., COHEN, W. B., PARKER, G. G., & HARDING, D. J. (2002). "Lidar remote sensing for ecosystem studies." *BioScience*, 52(1), 19-30.



HYYPÄ, J., HYYPÄ, H., INKINEN, M., ENGDAHL, M., LINKO, S., & ZHU, Y. H. (2000). "Accuracy comparison of various remote sensing data sources in the retrieval of forest stand attributes." *Forest Ecology and Management*, 128(1-2), 109-120.

HYYPÄ, J., HYYPÄ, H., LECKIE, D., GOUGEON, F., YU, X., & MALTAMO, M. (2008). "Review of methods of small-footprint airborne laser scanning for extracting forest inventory data in boreal forests." *International Journal of Remote Sensing*, 29(5), 1339-1366.

MEANS, J. E., ACKER, S. A., HARDING, D. J., BLAIR, J. B., LEFSKY, M. A., COHEN, W. B., ... & MCKEE, W. A. (1999). "Use of large-footprint scanning airborne lidar to estimate forest stand characteristics in the western Cascades of Oregon." *Remote Sensing of Environment*, 67(3), 298-308.

MEANS, J. E., ACKER, S. A., FITT, B. J., RENSLOW, M., EMERSON, L., & HENDRIX, C. J. (2000). "Predicting forest stand characteristics with airborne scanning lidar." *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 66(11), 1367-1371.

NÆSSET, E. (1997). "Estimating timber volume of forest stands using airborne laser scanner data." *Remote Sensing of Environment*, 61(2), 246-253.

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

REPRESA, A.; 1991. *Valladolid y sus comarcas*. Ámbito. 113 págs. Valladolid.

RUIZ, L. A., HERMOSILLA, T., MAURO, F., & GODINO, M. (2014). "Analysis of the influence of plot size and LiDAR density on forest structure attribute estimates." *Forest Ecology and Management*, 319, 191-203. Este artículo analiza cómo el tamaño de las parcelas y la densidad de LiDAR afectan las estimaciones de atributos de la estructura forestal.

SUN, G., & RANSON, K. J. (2000). "Modeling lidar returns from forest canopies." *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 38(6), 2617-2626. doi:10.1109/36.885208.

TOMÉ, J.L.; BENGOA, J.; BALLESTEROS, E.; MARTÍNEZ, J.; MARTÍN-ALCON, S. 2025. Oportunidades y Limitaciones del LiDAR PNOA multitemporal para el seguimiento de los ecosistemas forestales. 9º Congreso Forestal Español.

[1] Volumen de madera (fustes) (VCC), Diámetro medio cuadrático (DCM), Número de pies por hectárea (Npies), Área basimétrica (Abas), Crecimiento anual en volumen (IAVC), Biomasa aérea (BA) y Volumen de leñas (VLE).

[2] Como las parcelas son de radio variable, para cada parcela se ha elegido un radio de referencia en función de los árboles presentes en los anillos de 10-15 y 15-25 m para maximizar la correspondencia espacial entre las variables explicativas y las explicadas. El número medio de celdas 10x10 por parcelas IFN es 12.

[3] Para *Quercus pyrenaica* se han ajustado modelos distintos a zonas voladas en periodo vegetativo y no vegetativo (con hoja / sin hoja).

[4] *Pinus sylvestris*, *Pinus nigra*, *Pinus pinaster*', *Pinus pinea*', *Pinus halepensis*', *Pinus radiata*', *Pinus uncinata*', *Quercus pyrenaica*', *Quercus ilex*', *Quercus faginea*', *Quercus petraea*', *Quercus robur*', *Quercus suber*', *Fagus sylvatica*', *Populus spp* de producción'.

[5] Cordillera Cantábrica, Páramos leoneses y palentinos, Cabrera - Sanabria - Culebra - Aliste - Penillanuras occidentales, Campos y campiñas, Gata-Béjar-Ávila, Sistema Central, Pinares centro - Sepúlveda, Soria sur, Torozos - Cerrato - Burgos sur, Sistema Ibérico norte, Burgos centro y norte,

[6] Cantábrica y páramos detríticos, Campos y páramos calizos, Cantábrica y páramos detríticos Le-Pa-Bu, Páramos calizos y pinares centro, Soria, Páramos detríticos y cuenca del Duero, Sistema Central completo, Soria-Burgos sin páramos calizos, Resto quejigo, Resto *Pinus nigra*, Resto piñonero, Resto haya, Resto sabina, CyL.

[7] Raíz del error cuadrático medio residual.

[8] La situación de una parcela o la probabilidad de ser elegida no puede estar influida por el valor de la variable explicada o por su relación con las explicativas.

[9] DECRETO 104/1999, de 12 de mayo de 1999, de la Junta de Castilla y León, por el que se aprueban las Instrucciones Generales para la Ordenación de los Montes Arbolados en Castilla y León. Estas instrucciones no obligan a que cada parcela tenga un mínimo de 15 pies, sino a que la media supere esta cifra, dando la opción de usar radio variable o fijo para cumplir este objetivo, dando preferencia a este último.

[10]

$$\hat{y} \pm t_{\alpha/2, n-2} \sqrt{MSE \left(1 + \frac{1}{n} + \frac{(x_k - \bar{x})^2}{\sum (x_i - \bar{x})^2} \right)}$$

[11]

$$\hat{y} \pm t_{\alpha/2, n-2} \sqrt{MSE \left(\frac{1}{n} + \frac{(x_k - \bar{x})^2}{\sum (x_i - \bar{x})^2} \right)}$$

[12] Mayorado para incorporar el factor

$$\frac{(x_k - \bar{x})^2}{\sum (x_i - \bar{x})^2}$$