



9CFE-1979

Actas del Noveno Congreso Forestal Español
Edita: **Sociedad Española de Ciencias Forestales. 2025.**
ISBN: 978-84-941695-7-1

Organiza





Comparación de diversos tipos de láser escáner de uso forestal

CANTERO AMIANO, A.¹,

¹ Fundación HAZI Fundazioa. Granja Modelo s/n. 01192 Arkaute (Álava). acantero@hazi.eus

Resumen

La aplicación de los escáneres láser en la medición de árboles está revolucionando el inventario forestal desde hace pocos años, ya que abaratan la toma de datos, evitan la subjetividad de las mediciones manuales, disminuyen los errores introducidos por las ecuaciones de cubicación y aportan una nube de puntos que resulta de gran interés para ir detectando los cambios futuros y cuantificando el crecimiento de los árboles.

En el marco de la colaboración entre diversas instituciones, se ha realizado en verano de 2024 una experiencia de inventario de un pinar adulto en Asturias mediante 4 tipos de láser escáner. Simultáneamente con los escaneos, también se ha volado el mismo pinar con un dron con cámara RGB para mejorar la geoposición de los pinos y la precisión de las mediciones de sus alturas mediante fotogrametría.

Se presentan los resultados conseguidos, incidiendo en cuanto a la precisión y el rendimiento de los diversos tipos de escáner ensayados. Se han empleado tres programas específicos para el procesado de las nubes de puntos y la cubicación de los pinos: dos programas gratuitos y otro de uso comercial.

Palabras clave

inventario forestal, escaneo, fotogrametría, cubicación

Introducción

En los últimos años se está difundiendo el empleo de diversos escáneres láser y de programas informáticos para realizar los cálculos correspondientes a partir de las nubes de puntos generadas en masas forestales. La gama actual de herramientas en el mercado es amplia, entre láseres fijos de trípode (que se suelen denominan TLS, *Terrestrial Laser Scanner*) y láseres de mano (SLAM o MLS, *Mobile Laser Scanner*) y se está detectando un importante descenso de precios gracias a esta competencia. Sin embargo, hay que tener en cuenta las especificaciones técnicas de cada láser, su alcance máximo y su precisión.

En paralelo, actualmente existe una gama más o menos amplia de programa de manejo de nubes de puntos forestales y de cálculos dasométricos. Algunos de ellos son gratuitos y específicos para su empleo en arbolado forestal.

A través del proyecto Espacio Atlántico REINFFORCE, HAZI Fundazioa adquirió en 2012 un láser TLS de la marca FARO. Diez años de empleo después, como consecuencia de una avería de reparación dudosa y costosa, fue sustituido por un SLAM del modelo LIGrip H100. El sistema de inventario forestal, obviamente cambió, pasando de escaneos fijos que había que unir con un programa específico a otros escaneos continuos, obtenidos según se camina en el bosque a una

velocidad en torno a 1 m/s. El procesamiento de las nubes, gracias a los modernos programas disponibles en la actualidad, es mucho más rápido y sencillo.

La ausencia de empresas o instituciones en los alrededores del País Vasco que realizaran tareas semejantes de inventario forestal aconsejó la organización de una jornada de campo en la que se pudieran comparar diversos escáneres, tipos de escaneos y herramientas informáticas para su procesamiento. Gracias a Carlos Cabo Gómez, del Grupo INDUROT, dentro de la Universidad de Oviedo en Mieres, se pudo organizar una jornada de campo en la que diversos equipos pudieron medir simultáneamente un conjunto de parcelas forestales y realizar los cálculos posteriores. Esta jornada de campo se celebró en las cercanías de Berducedo (Asturias) el día 10 de junio de 2024 y en esta comunicación se presenta un avance de los resultados conseguidos.

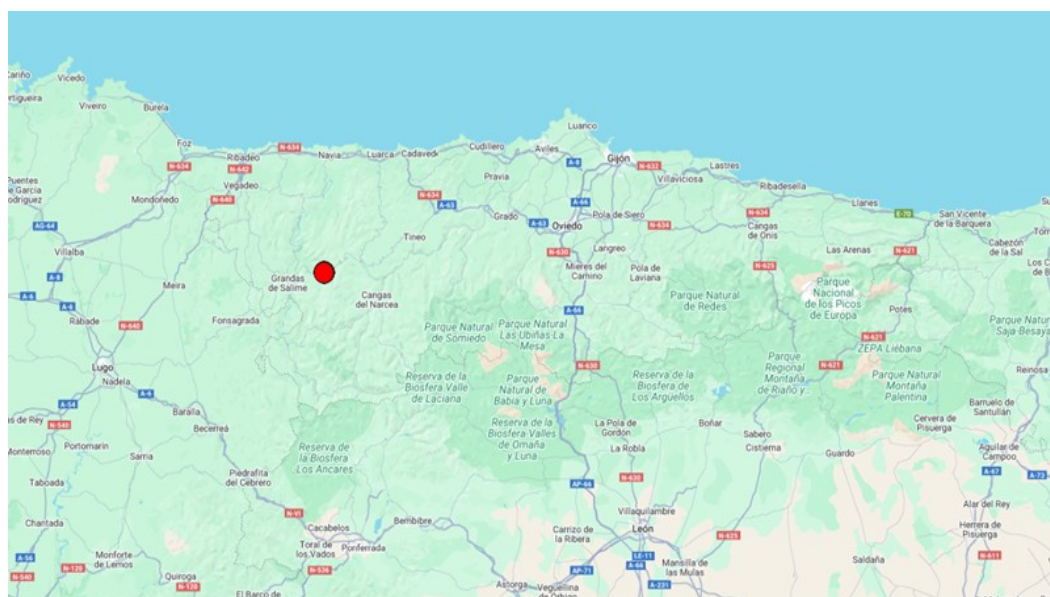


Figura 1. Mapa de la zona de localización de muestreo..



Figura 2. Zona sobrevolada por el dron y que incluye las 3 parcelas, mostrando en color rojo la ubicación central de los pinos de mayores alturas.



Objetivos

Comparar los resultados obtenidos en un inventario forestal mediante el empleo de diversos escáneres láser y de cálculos dendrométricos mediante diversos programas de procesamiento de las nubes conseguidas.

Replicar en este trabajo los criterios prácticos de escaneo y cálculos posteriores que cada equipo participante aplica en su trabajo de inventario cotidiano. De esta forma, se podrán obtener conclusiones útiles para los asistentes en el futuro.

Metodología

El 10 de junio de 2024 se realizaron las medidas El citado día 10 de junio de 2024 se dieron cita estos equipos humanos y materiales en 3 parcelas contiguas de 40*40 m repartidas por una reforestación adulta de pino silvestre, previamente delimitadas con piquetas de madera:

- El equipo de 3 técnicos de la Escuela forestal de Mieres aportan dos equipos: un láser MLS del tipo Mandeye de bajo coste (“LOW-COST”) y con un TLS modelo TRIMBLE X7
- Otro equipo de una persona de la Escuela forestal de Ponferrada (León), con un láser MLS del tipo GEOSLAM ZEB HORIZON
- Otro equipo de una persona de HAZI Fundazioa (Arkaute, Álava), con un láser MLS del LiGrip
- Y un piloto de la Escuela forestal de Murgia (Álava) con un dron para realizar un vuelo fotogramétrico del pinar, es decir, de las 3 parcelas y sus alrededores

Al ser equipos independientes, se fueron midiendo las 3 parcelas de forma simultánea desde el suelo y desde el aire, sin ninguna interferencia entre ellas. La única sincronía entre ellos fue la instalación previa de diversos tipos de marcas en el suelo (dianas plastificadas, bolas de plástico blanco) en la periferia de la zona a medir, de forma que pudieran ser visibles desde el aire y, a la vez, pudieran ser escaneadas por los 4 equipos de escaneo terrestre. El fin de esta sincronía va a ser la posible unión futura de estos escaneos terrestres con el modelo 3 D aéreo.

Una vez los equipos de medición iban terminando sus respectivos escaneos y procesando esos escaneos con los programas de descarga correspondientes, se realizaba la compartición de las nubes de puntos entre todos los asistentes.

Los programas de procesamiento empleados para procesar las nubes de puntos generadas:

- 3DFIN: se trata de un plugin del programa gratuito CloudCompare, que se está desarrollando, entre otros, por el citado equipo comandado por Carlos Cabo. Permite calcular la posición y altura total de cada árbol, así como el diámetro medio a cualquier altura del fuste.
- FORTLS: paquete en R, también gratuito, que se ha desarrollado, entre otros, por un equipo de la Escuela forestal de Lugo (MOLINA-VALERO *et al.*, 2022). También permite calcular la posición y altura total de cada árbol, el diámetro medio a cualquier altura del fuste y el volumen total de cada fuste..

- LIDAR360: programa de pago desarrollado por la misma empresa que produce los escáneres de la gama LiGrip, Green Valley International (<https://www.greenvalleyintl.com/>). Igualmente, permite calcular la posición y altura total de cada árbol, el diámetro medio a cualquier altura del fuste y otros parámetros como diámetro o volumen de las copas.

Se cuenta, por tanto, con 36 nubes independientes de puntos con extensión “.las”: 3 parcelas * 4 escáneres * 3 programas de cálculo. Como el presente trabajo es eminentemente práctico, no con fines de investigación, se ha procedido a eliminar del cálculo los (escasos) pinos que pudieran ser considerados “outliers”, es decir, aquéllos en los que el diámetro normal procesado fuera de menos de 15 cm o de más de 60 cm, ya que esos árboles no existen en estas parcelas. Con más tiempo, cada uno de estos pinos “outliers” podría haber sido revisado uno a uno en las nubes respectivas para proceder a calcular manualmente cada diámetro normal correcto, pero se ha decidido simplificar el trabajo, simplemente eliminando esos pies dudosos. Los resultados finales dasométricos de cada parcela afectada no cambia significativa con la inclusión de estos pies dudosos, pero sí aumentaría el tiempo necesario para su revisión y cálculo.

Resultados

Resultados complementarios a los aquí presentados, referentes a la geoposición y dendrometría de cada pino concreto, ya han sido publicados por BALESTRA *et al.* 2024. Al igual que en el citado trabajo, para obtener los siguientes resultados en pinar se han seguido los pasos propuestos por BALESTRA *et al.*, 2023 y por PEREIRA *et al.*, 2024, en castaños.

El principal resultado conseguido son las Tablas 1 y 2, que resumen los principales resultados dasométricos conseguidos en cada parcela y con cada escáner y programa de procesado empleados:

Tabla 1. Características dasométricas de las herramientas y parcelas evaluadas

Parcela	Láser empleado	Programa empleado	Número de pinos	Diámetro medio cuad. (cm)	Altura media (m)
1	GEOSLAM	3DFIN	56	40,20	21,75
1	GEOSLAM	FORTLS	63	39,50	20,84
1	GEOSLAM	LIDAR360	53	39,68	21,71
1	LIGRIP	3DFIN	64	39,36	21,62
1	LIGRIP	FORTLS	64	40,68	20,75
1	LIGRIP	LIDAR360	51	39,90	21,62
1	LOW-COST	3DFIN	55	42,72	21,52
1	LOW-COST	FORTLS	59	42,33	20,60

1	LOW-COST	LIDAR360	49	42,78	21,80
1	TRIMBLE X7	3DFIN	48	41,42	21,69
1	TRIMBLE X7	FORTLS	60	39,96	20,90
1	TRIMBLE X7	LIDAR360	53	40,68	21,41
2	GEOSLAM	3DFIN	62	38,08	20,69
2	GEOSLAM	FORTLS	58	39,29	20,10
2	GEOSLAM	LIDAR360	56	40,34	20,79
2	LIGRIP	3DFIN	51	39,11	20,98
2	LIGRIP	FORTLS	60	37,55	20,00
2	LIGRIP	LIDAR360	55	39,11	21,06
2	LOW-COST	3DFIN	57	42,68	21,50
2	LOW-COST	FORTLS	54	41,73	20,10
2	LOW-COST	LIDAR360	57	41,98	20,42
2	TRIMBLE X7	3DFIN	55	39,80	20,86
2	TRIMBLE X7	FORTLS	58	40,06	20,44
2	TRIMBLE X7	LIDAR360	58	39,96	20,97
3	GEOSLAM	3DFIN	64	36,48	18,97
3	GEOSLAM	FORTLS	61	36,34	18,05
3	GEOSLAM	LIDAR360	55	36,35	18,88
3	LIGRIP	3DFIN	63	35,45	19,12
3	LIGRIP	FORTLS	62	34,17	17,71
3	LIGRIP	LIDAR360	56	35,37	18,76
3	LOW-COST	3DFIN	63	39,86	18,94
3	LOW-COST	FORTLS	60	39,03	17,88
3	LOW-COST	LIDAR360	54	39,44	18,58
3	TRIMBLE X7	3DFIN	64	37,44	19,06
3	TRIMBLE X7	FORTLS	62	36,92	18,01
3	TRIMBLE X7	LIDAR360	61	36,83	18,89

Tabla 2. Diámetro medio cuadrático (cm) de las herramientas y parcelas evaluadas

Parcela	Láser empleado	3DFIN	FORTLS	LIDAR360	Media
1	GEOSLAM	40,20	39,50	39,68	39,79
1	LIGRIP	39,36	40,68	39,90	39,98
1	LOW-COST	42,72	42,33	42,78	42,61
1	TRIMBLE X7	41,42	39,96	40,68	40,68
1	Media	40,92	40,62	40,76	40,77
2	GEOSLAM	38,08	39,29	40,34	39,24
2	LIGRIP	39,11	37,55	39,11	38,59
2	LOW-COST	42,68	41,73	41,98	42,13
2	TRIMBLE X7	39,80	40,06	39,96	39,94
2	Media	39,92	39,66	40,35	39,97
3	GEOSLAM	36,48	36,34	36,35	36,39
3	LIGRIP	35,45	34,17	35,37	34,99
3	LOW-COST	39,86	39,03	39,44	39,44
3	TRIMBLE X7	37,44	36,92	36,83	37,06
3	Media	37,31	36,61	36,99	36,97

Discusión

Como se ha comentado, la premisa básica del presente trabajo es la practicidad, no la investigación. Es decir, cada equipo ha realizado sus escaneos de la misma forma en que lo venía realizando hasta la fecha, de acuerdo con las características de cada láser escáner y de cada programa informático aplicados en arbolados similares. Es decir, se ha buscado que el escaneo de estas parcelas no les llevara más tiempo ni más pasadas con el escáner respectivo que en su forma de trabajo cotidiano. De la misma forma, en los cálculos posteriores de cada parcela, no se han debido cambiar los parámetros tradicionales empleados por cada equipo hasta entonces, como el espesor de las rodajas de cálculo para los diámetros.

Hay que tener en cuenta las premisas condicionantes de cada herramienta empleada:

- En cuanto al coste de cada escáner: TRIMBLE X7 > GEOSLAM >> LIGRIP >> LOW-COST
- En cuanto al tiempo empleado con cada escáner en la adquisición de cada

- nube de puntos: TRIMBLE X7 >> GEOSLAM > LOW-COST > LIGRIP
- En cuanto a la precisión y densidad de puntos de cada escáner en la adquisición de las nubes de puntos: TRIMBLE X7 > GEOSLAM > LIGRIP > LOW-COST
 - En cuanto al tiempo empleado con cada escáner en la descarga y procesado de cada nube de puntos (con un ordenador tipo de 16 GB de RAM): LIGRIP > TRIMBLE X7 > GEOSLAM >> LOW-COST
 - En cuanto al coste de cada programa: LIDAR360 >> 3DFIN = FORTLS (ambos gratuitos)
 - En cuanto al tiempo empleado en el cálculo de los parámetros dasométricos: LIDAR360 >> 3DFIN > FORTLS

También hay que mencionar que, empleando un solo operario, cualquiera de estas combinaciones resulta ser más económica en tiempo de campo y de cálculos posteriores que la medición de inventario tradicional de posición-diámetro normal-altura total de cada árbol en cada parcela. Otras ventajas de la toma de escaneos son la posibilidad de mediciones complementarias en gabinete para cada fuste (diámetros a distintas alturas, mediciones de copas completas) y la posible repetición de escaneos de los mismos árboles en el futuro (“árboles-tipo”).

Sí que se observan, *grosso modo*, ciertas tendencias a subestimar o sobrestimar algunos parámetros en algunas herramientas testadas, aunque esos desajustes se pueden calificar como ligeros. Estas tendencias han sido detectadas, como se ha comentado con anterioridad, una vez eliminados manualmente los árboles cuya medición aparece como dudosa, fuera de los límites observados en campo.

Tabla 3. Tendencias detectadas en la comparación de las distintas herramientas evaluadas

Parámetro	Láser que subestima	Láser que sobrestima	Programa que subestima	Programa que sobrestima
Número de pinos	LOW-COST	-	LIDAR360	FORTLS
Diámetro medio	LIGRIP	LOW-COST	-	-
Altura media	LOW-COST	-	FORTLS	-

Como desventaja, podría citarse el coste del escáner o de alguna herramienta informática para el cálculo posterior, aunque hay alternativas baratas o gratuitas para ambos casos. No hace falta especialización para la realización de escaneos, salvo pudiera ser el caso del TRIMBLE X7, cuya planificación y unión de escaneos puede ser más complicado que el recorrido a realizar entre los árboles por los escáneres de mano tipo SLAM.

También hay que tener en cuenta que el láser tipo LOW-COST empleado solo tiene un alcance práctico de 40 metros, lo que dificulta la correcta medición de la altura total en árboles adultos, frente a los 100 metros que alcanza el resto de escáneres testados. En caso de escanear árboles de altura en torno a 25-30 m, el empleo de



un láser tipo LOW-COST debería obligar al operario a densificar el recorrido, acercándose todo lo posible a cada árbol y alargando el tiempo de inventario para poder visualizar y medir bien la parte superior de los árboles. En el caso de arbolados de más altura, ese tipo de láseres debería descartarse sin más al no poder medir correctamente alturas de los árboles.

Las parcelas inventariadas en esta experiencia se pueden calificar como de facilidad media de inventario, teniendo en cuenta que, aunque el terreno es llano, el fuerte desarrollo del matorral leñoso de brezal, con abundantes arbustos dispersos y con hoja, dificulta el tránsito en los escaneos, la toma de datos por parte de los escáneres y, por tanto, la fiabilidad de los resultados finales.

Por último, hay que recordar que, si se hubiera realizado esta misma jornada comparativa pero únicamente empleando métodos manuales (diámetros normales con forcípula, alturas con hipsómetro), la experiencia dice que distintos operarios no obtendrían exactamente los mismos resultados, ya que con frecuencia se suelen registrar omisiones de árboles, así como errores en las propias mediciones a causa de despistes o empleo de herramientas desajustadas.

Conclusiones

De acuerdo con las posibilidades testadas, actualmente es posible elegir entre distintas combinaciones de escáner+programa de cálculo según presupuesto disponible o según necesidad de precisión en las mediciones de diámetros y alturas. Las diferencias encontradas no son significativamente importantes y las ventajas obtenidas frente a las mediciones manuales tradicionales pueden compensar esos posibles desajustes en los cálculos finales.

Como criterio práctico, se pueden emplear los baremos seguidos en los exámenes a superar con el fin de obtener el carnet de tasador que emiten las Diputaciones Forales del País Vasco: los candidatos realizan un inventario completo de un pinar de una hectárea y, para aprobar el examen y obtener el carnet, no se admite un error superior al 10% ni en el conteo de los árboles ni en el cálculo del diámetro medio ni de la altura media de esos pinos. Aplicando esos mismos baremos a las 36 combinaciones aquí testadas, solo en 5 de ellas se supera el 10% de diferencia frente al valor medio registrado en cada parcela: se trata del número de pinos de la parcela 1, un 12-14% de variación por exceso o por defecto.

En las Tablas 4 y 5, a modo de resumen, se aprecia que prácticamente todas las combinaciones testadas proporcionarían cubicaciones semejantes del pinar completo en cuanto a sus principales magnitudes, sin sobrepasar en general el límite del 10% por exceso o defecto sobre la media total.

Tabla 4. Área basimétrica media (m²) en el conjunto de las 3 parcelas evaluadas

Herramienta	3DFIN	FORTLS	LIDAR360	Media
GEOSLAM	6,95	7,03	6,47	6,82
LIGRIP	6,71	6,88	6,16	6,58
LOW-COST	7,97	7,62	7,18	7,59
TRIMBLE X7	6,79	7,16	6,89	6,94
Media	7,10	7,17	6,67	6,98

Tabla 5. Volumen maderable medio (m^3) en el conjunto de las 3 parcelas evaluadas

Herramienta	3DFIN	FORTLS	LIDAR360	Media
GEOSLAM	52,74	51,36	49,19	51,10
LIGRIP	51,28	50,09	46,89	49,42
LOW-COST	60,91	55,23	53,94	56,69
TRIMBLE X7	51,46	52,57	52,13	52,05
Media	54,10	52,31	50,54	52,32

En conclusión, emplear herramientas gratuitas o de bajo coste, como la combinación láser LOW-COST + programa 3DFIN/FORTLS, proporciona una fiabilidad semejante al de las herramientas manuales o tecnológicas más precisas o más caras.

Grandes volúmenes de datos forestales que, en breve, van a estar disponibles de forma gratuita y cubriendo todos los arbolados de la Cornisa Cantábrica, como el nuevo vuelo LiDAR 2024 o las miles de parcelas de muestreo del IFNN2 2025, van a facilitar y complementar los inventarios que se puedan realizar en el futuro empleando este tipo de nuevas tecnologías forestales.

HAZI se plantea como objetivo la progresiva digitalización del monte vasco, la disminución de los costes de inventario forestal, sobre todo en arbolados de alto valor, y la introducción del inventario mediante escaneos o vuelos fotogramétricos en sustitución de las mediciones manuales. Es de desear que esta experiencia, junto con los cursos de especialización que ya está impartiendo HAZI en colaboración con la Escuela forestal de Murgia, contribuya al empleo de nuevas tecnologías en futuros inventarios forestales.

Agradecimientos

Agradezco a los asistentes a esta interesante jornada de campo su asistencia, su buen humor y su buena disposición para la realización de los cálculos posteriores. Saber es hacer.

Bibliografía

BALESTRA, M., CABO, C., MURTIYOSO, A., VITALI, A., ALVAREZ, F., CANTERO, A., BOLAÑOS, R., LAINO, D., and PIERDICCA, R., 2024: Advancing forest inventory: a comparative study of low-cost MLS lidar device with professional laser scanners, Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XLVIII-2/W8-2024, 9–15, <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-2-W8-2024-9-2024>.

BALESTRA, M., TONELLI, E., VITALI, A., URBINATI, C., FRONTONI, E., PIERDICCA, R., 2023. Geomatic data fusion for 3D tree modeling: The case study of monumental chestnut trees. Remote Sensing, 15(8), 2197.

MOLINA-VALERO, J.A., MARTÍNEZ-CALVO, A., GINZO VILLAMAYOR, M. J., NOVO PÉREZ, M.A., ÁLVAREZ-GONZÁLEZ, J.G., MONTES, F., PÉREZ CRUZADO, C., 2022. Operationalizing the use of TLS in forest inventories: The R package FORTLS. Environmental Modelling and Software 150, 105337, <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2022.105337>

PEREIRA, D.; CABO, C.; ORDÓÑEZ, C.; RODRÍGUEZ PÉREZ, J. R., 2024. A handheld laser-scanning-based methodology for monitoring tree growth in chestnut orchards. Sensors, 24(6), (2024); doi:10.3390/s24061717, <http://dx.doi.org/10.3390/s24061717>.



Figura 1. Participantes en la jornada de Berducedo.



Figura 2. Vista general del escaneo mediante el láser TRIMBLE X7.



Figura 3. Vista general del escaneo mediante SLAM del pinar inventariado.