

Teledetección Próxima Terrestre para Aplicaciones Forestales



Lugo – 1, 2 y 3 de septiembre de 2021



ESCOLA POLITÉCNICA SUPERIOR
DE ENXEÑARÍA

Contenido

ENCUESTA	1
COMITÉ ORGANIZADOR	2
COMITÉ CIENTÍFICO.....	2
LOCALIZACIÓN.....	3
PROGRAMACIÓN.....	6
RESÚMENES	11
Clasificación automática de nubes de puntos terrestres en parcelas forestales.....	11
Un algoritmo para detección robusta de fustes en nubes obtenidas mediante SLAM basado en las leyes fundamentales de la mecánica clásica	13
Estudio del efecto de la complejidad de la masa forestal para distintos tamaños de parcela en la detección de árboles y estimación de sus diámetros en base a escaneos únicos de escáner láser terrestre (TLS).	15
Extracción de atributos de árbol individual y caracterización forestal a nivel de masa: TLS vs. SLAM	16
Sistemas innovadores en mediciones forestales en el País Vasco: proyecto GO Fagus	18
Estimación automática de la rectitud e inclinación de los fustes en individuos de Pinus pinaster a partir de datos TLS (Terrestrial Laser Scanning).....	19
Comparación entre la determinación automática de diámetros y alturas de árboles con TLS y métodos de inventario tradicional.....	20
Aplicaciones fotogramétricas para el seguimiento de rodales maduros.....	22
Análisis comparativo de la estimación de variables de estructura forestal mediante datos de campo, TLS y UAV en individuos de Pinus halepensis Mill.....	24
Sistemas LIDAR terrestres en aplicaciones forestales. Comparativa entre sistemas estáticos y dinámicos	26
Sistemas de mapeado móvil aplicados al inventariado forestal.....	28
Modelización de variables de rodal de interés forestal en base a métricas y variables obtenidas mediante Escáner Láser Terrestre (TLS) con el paquete de R FORTLS.....	30
Evaluación del uso del Escáner Láser Terrestre en inventario forestal a escala de monte. Un caso de estudio en base a la estimación de la biomasa arbórea	31
Modelos de estimación de existencias en las plantaciones con clones de <i>Populus</i> × euroamericana y <i>P.</i> × interamericana empleando datos de escáner láser terrestre	32
Caracterización de la distribución horizontal de biomasa en árboles individuales mediante TLS: aplicaciones para inventario forestal.....	33
Aspectos prácticos de la Utilización de ForeStereo para el inventario a escala monte	34
Estimación de las variables de sotobosque y del dosel de copas relacionadas con el riesgo de incendios a partir de datos de un único escaneo con TLS	36

Control de calidad de mediciones dasométricas mediante el uso de escáner laser terrestre (TLS) en el Inventario Forestal Continuo de Galicia.	38
SPONSORS	39

Colabora:



Sponsors:



Financiado por:



REFERENCIAS DE FINANCIACIÓN

Diputación provincial de Lugo: Convocatoria de axudas 2021 para a realización de actividades de investigación e/ou transferencia no ámbito do desenvolvemento rural no Campus de Lugo.

Sponsors: Álava Ingenieros y Grafinta.

UXAFORES: Financiación da Xunta de Galicia (Grupos de Referencia Competitiva ED431C 201807)

PROePLA: Financiación da Xunta de Galicia (Grupos de Referencia Competitiva ED431C-2021-27)

ENCUESTA

Se anima a todos los participantes en el *Workshop sobre Teledetección Próxima Terrestre para Aplicaciones Forestales* que rellenen la siguiente encuesta sobre ***Perspectivas de la Teledetección Próxima Terrestre para Aplicaciones Forestales***. Los resultados de la encuesta se presentarán en la mesa redonda del día 2 a las 13:00 h. Se puede acceder tanto con el enlace <https://forms.office.com/r/5Q8steFBrp>, como con el siguiente código QR:



COMITÉ ORGANIZADOR

Adela Martínez Calvo (Universidade de Santiago de Compostela)

César Pérez Cruzado (Universidade de Santiago de Compostela)

Diego Lombardero Barrero (Universidade de Santiago de Compostela)

Eduardo Manuel González Ferreiro (Universidad de León)

Joel Rodríguez Ruiz (Universidade de Santiago de Compostela)

Juan Alberto Molina Valero (Universidade de Santiago de Compostela)

Mario López Fernández (Universidade de Santiago de Compostela)

Óscar López Álvarez (Universidade de Santiago de Compostela)

Pablo Rodríguez González (Universidad de León)

Almudena Pérez Antelo (Universidade de Santiago de Compostela)

COMITÉ CIENTÍFICO

Adela Martínez Calvo (Universidade de Santiago de Compostela)

Carlos Cabo Gómez (Swansea University - UK)

César Pérez Cruzado (Universidade de Santiago de Compostela)

Eduardo Manuel González Ferreiro (Universidad de León)

Fernando Montes Pita (INIA - CSIC)

Juan Alberto Molina Valero (Universidade de Santiago de Compostela)

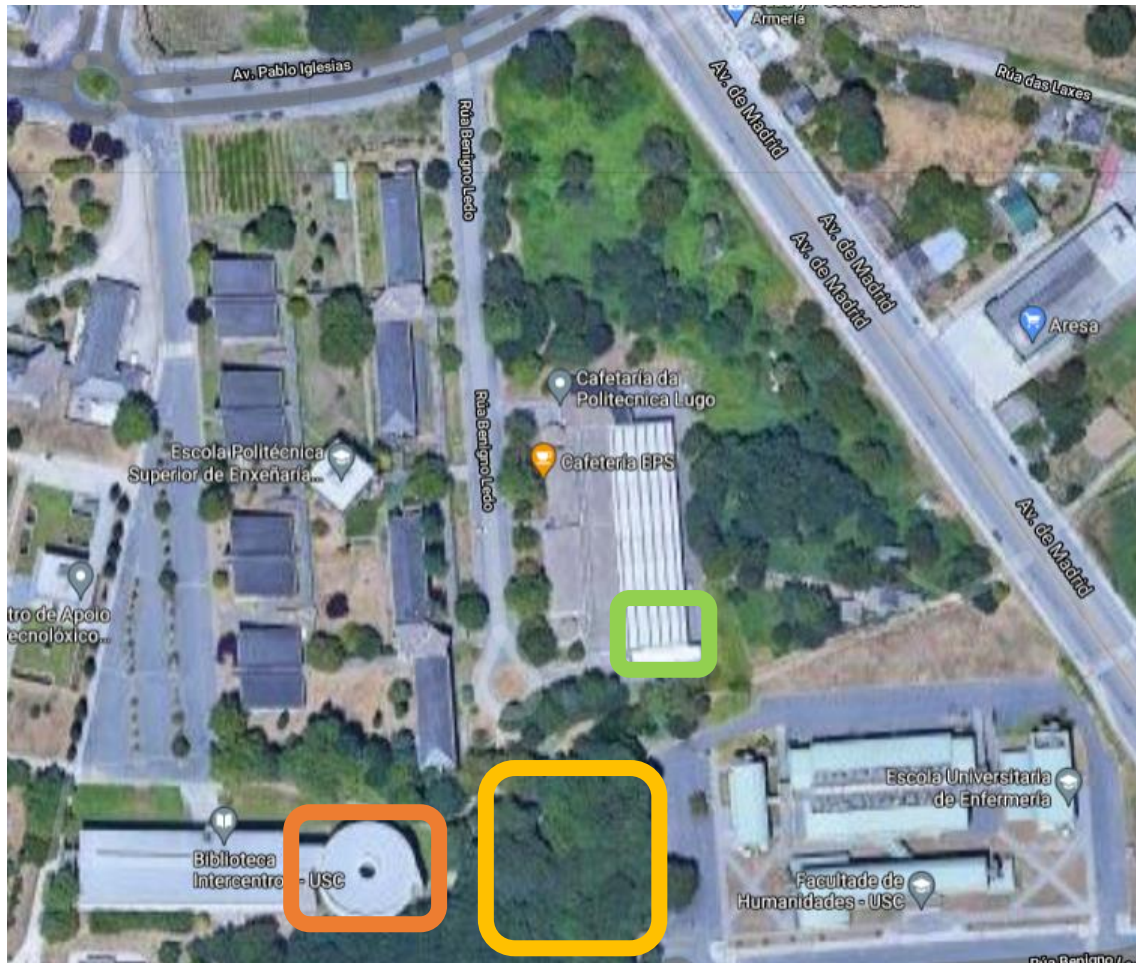
Juan Gabriel Álvarez González (Universidade de Santiago de Compostela)

Pablo Rodríguez González (Universidad de León)

Rubén Manso González (Forestry Commission Research Agency - UK)

LOCALIZACIÓN

Mapa de la Escuela Politécnica Superior de Ingeniería (EPSE) y ubicación de los espacios del workshop



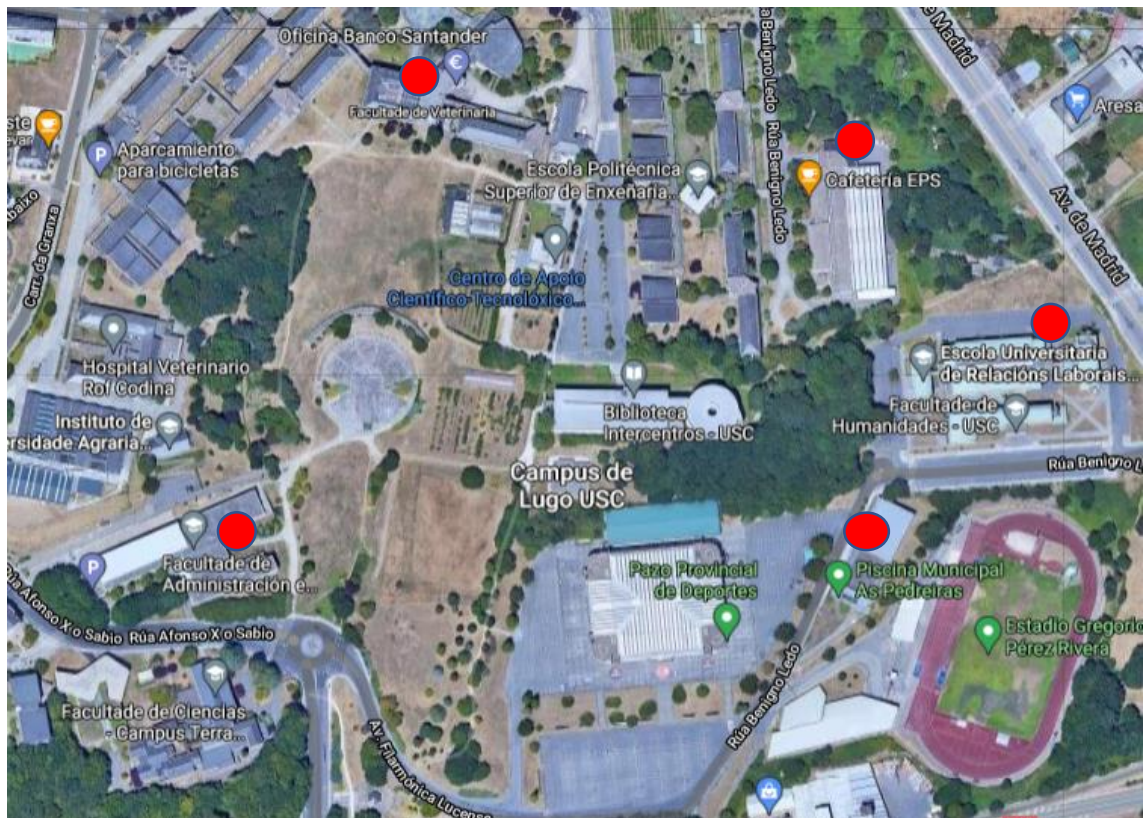
Acto de apertura, conferencias y mesa redonda (Salón de actos de la EPSE)

Talleres (Aula E-Terra de la Biblioteca Intercentros)

Toma de datos de campo (Carballeira del Campus Terra)

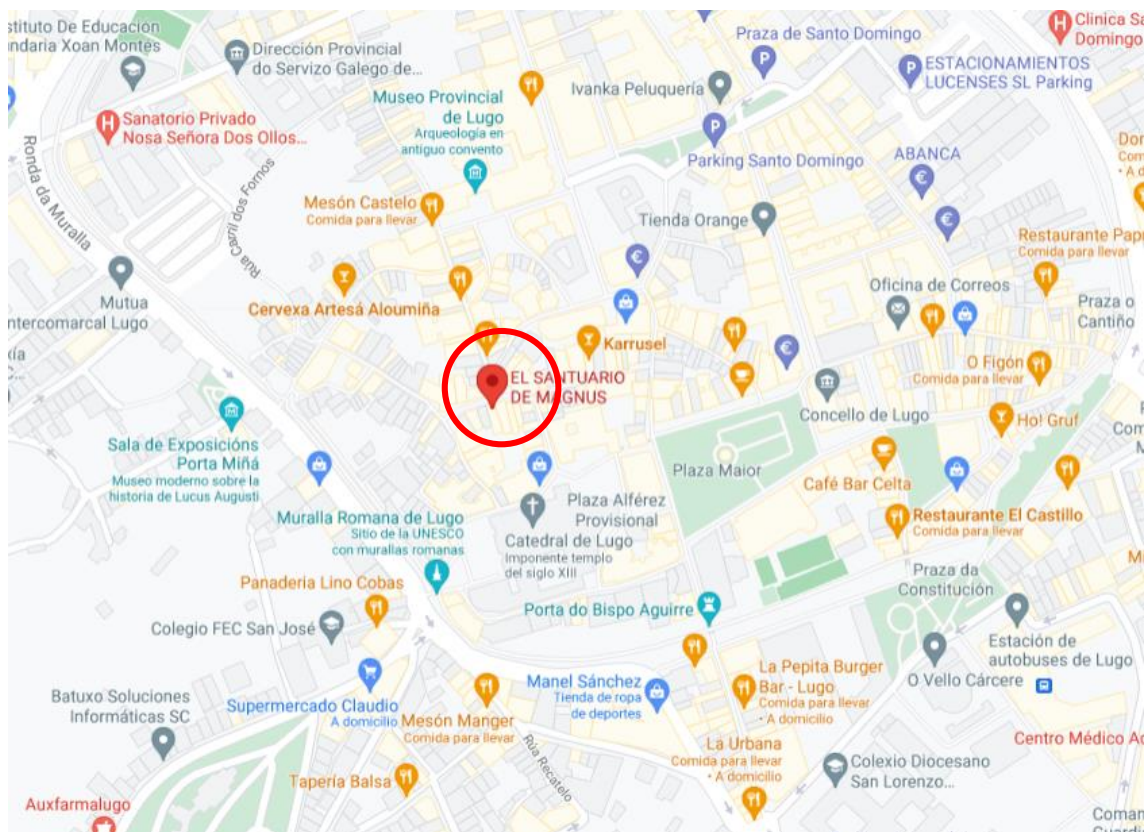
Mapa del Campus Universitario (Campus Terra) y ubicación de las cafeterías y comedores (puntos rojos).

NOTA: Las comidas no están incluidas en la inscripción.



Localización del Restaurante El Santuario de Magnus (Praza do Campo 8, Lugo) donde tendrá lugar la sesión de pinchos el miércoles 1 de septiembre a las 21:00 h.

NOTA: Includo en la inscripción para los participantes que lo hayan reservado.



PROGRAMACIÓN

01/09/2021		
Hora	Evento	Localización
9:00 - 10:00	Registro y recogida de credenciales	Salón de actos (EPSE)
10:00 - 10:30	Acto de apertura	Salón de actos (EPSE)
10:30 - 11:45	Conferencias - Sesión I	Salón de actos (EPSE)
11:45 - 12:15	Pausa café	Junto al salón de actos (EPSE)
12:15 - 14:00	Conferencias - Sesión II	Salón de actos (EPSE)
14:00 - 15:45	Comida	
15:45 - 17:30	Toma de datos en campo	Carballeira (EPSE)
17:30 - 18:00	Pausa café	Junto al salón de actos (EPSE)
18:00 - 20:00	Taller ForeStereo	Aula e-Terra (Biblioteca Intercentros)
21:00 - 1:00	Sesión de pinchos	El Santuario de Magnus (centro histórico)

02/09/2021		
Hora	Evento	Localización
9:00 - 10:00	Registro y recogida de credenciales	Salón de actos (EPSE)
10:00 - 11:45	Conferencias - Sesión III	Salón de actos (EPSE)
11:45 - 12:15	Pausa café	Junto al salón de actos (EPSE)
12:15 - 13:00	Conferencias - Sesión IV	Salón de actos (EPSE)
13:00 - 14:00	Mesa redonda	Salón de actos (EPSE)
14:00 - 16:00	Comida	
16:00 - 17:30	Taller FORTLS	Aula e-Terra (Biblioteca Intercentros)
17:30 - 18:00	Pausa café	Junto al salón de actos
18:00 - 20:00	Taller FORTLS	Aula e-Terra (Biblioteca Intercentros)

03/09/2021		
Hora	Evento	Localización
9:00 - 10:00	Registro y recogida de credenciales	Salón de actos (EPSE)
10:00 - 11:45	Taller fotogrametría próxima	Salón de actos (EPSE)
11:45 - 12:15	Pausa café	Junto al salón de actos (EPSE)
12:15 - 14:00	Taller fotogrametría próxima	Salón de actos (EPSE)

01/09/2021		
Hora	Evento	Ponente
10:00	Acto de apertura	*Ver al final del programa
Conferencias - Sesión I (Moderador: Juan Alberto Molina Valero)		
10:30	Clasificación automática de nubes de puntos terrestres en parcelas forestales (Ponente invitado)	Carlos Cabo Gómez (Swansea University - UK)
10:50	Álava ingenieros - Riegl (Pitch comercial)	Sergio García Fernández
11:00	Un algoritmo para detección robusta de fustes en nubes obtenidas mediante SLAM basado en las leyes fundamentales de la mecánica clásica	Rubén Manso González (Forestry Commission Research Agency - UK)
11:15	Estudio del efecto de la complejidad de la masa forestal para distintos tamaños de parcela en la detección de árboles y estimación de sus diámetros en base a escaneos únicos de escáner láser terrestre (TLS)	Adela Martínez Calvo (Universidade de Santiago de Compostela)
11:30	Extracción de atributos de árbol individual y caracterización forestal a nivel de masa: TLS vs. SLAM	Ana Solares (Universidade de Vigo)
11:45	PAUSA CAFÉ	

Conferencias - Sesión II (Moderadora: Adela Martínez Calvo)		
12:15	Sistemas innovadores en mediciones forestales en el País Vasco: proyecto GO Fagus (Ponente invitado)	Alejandro Cantero Amiano (HAZI)
12:35	Estimación automática de la rectitud e inclinación de los fustes en individuos de <i>Pinus pinaster</i> a partir de datos TLS (Terrestrial Laser Scanning)	Covadonga Prendes Pérez (CETEMAS)
12:50	Comparación entre la determinación automática de diámetros y alturas de árboles con TLS y métodos de inventario tradicional	Anna Katharina Kletschka (Universidad de Oviedo)
13:05	Aplicaciones fotogramétricas para el seguimiento de rodales maduros	Jose Luis Tomé Morán (Agesta S. COOP.)
13:20	Análisis comparativo de la estimación de variables de estructura forestal mediante datos de campo, TLS y UAV en individuos de <i>Pinus halepensis</i> Mill.	Jesús Torralba (Universitat Politècnica de València)
13:35	Sistemas LIDAR terrestres en aplicaciones forestales. Comparativa entre sistemas estáticos y dinámicos.	David Cruz Josa (Grafinta S.A.)

14:00	COMIDA	
-------	---------------	--

Toma de datos en campo		
15:45	Conceptos importantes para el muestreo basado en técnicas de teledetección próxima	César Pérez Curzado (Univerdidade de Santiago de Compostela)
16:00	Toma de datos con Escáner Láser Terrestre (TLS)	Grupo Álava
16:30	Toma de datos con Localización Simultánea y Mapeo (SLAM)	Grafinta S.A.
17:00	Toma de datos con el dispositivo óptico ForeStereo	Fernando Montes e Isabel Aulló Maestro (INIA-CSIC)

17:30	PAUSA CAFÉ	
-------	-------------------	--

Taller		
18:00	Taller para el procesado y análisis de datos tomados con el dispositivo óptico ForeStereo	Fernando Montes e Isabel Aulló Maestro (INIA-CSIC)

21:00	SESIÓN DE PINCHOS	
-------	--------------------------	--

02/09/2021		
Hora	Evento	Ponente
Conferencias - Sesión III (Moderador: Eduardo Manuel González Ferreiro)		
10:00	Sistemas de mapeado móvil aplicados al inventariado forestal (Ponente invitado)	Pablo Rodríguez González (Universidad de León)
10:20	Análisis de tecnologías lidar aplicadas a trabajos forestales (Pitch comercial)	Paloma Mier (Grafinta S.A.)
10:30	Modelización de variables de rodal de interés forestal en base a métricas y variables obtenidas mediante Escáner Láser Terrestre (TLS) con el paquete de R FORTLS	Óscar López Álvarez (Univerdidade de Santiago de Compostela)
10:45	Evaluación del uso del Escáner Láser Terrestre en inventario forestal a escala de monte. Un primer caso de estudio en base a la estimación de la biomasa aérea	Juan Alberto Molina Valero (Univerdidade de Santiago de Compostela)

11:00	Modelos de estimación de existencias en las plantaciones con clones de Populus × euroamericana y P. × interamericana empleando datos de escáner láser terrestre	M. Flor Álvarez Taboada (Universidad de León) y Joaquín Garnica López (Bosques y Ríos)
11:15	Caracterización de la distribución horizontal de biomasa en árboles individuales mediante TLS: aplicaciones para inventario forestal	César Pérez Cruzado (Universidade de Santiago de Compostela)

11:45	PAUSA CAFÉ	
-------	-------------------	--

Conferencias - Sesión IV (Moderador: Rubén Manso González)		
12:15	Aspectos prácticos de la Utilización de ForeStereo para el inventario a escala monte (Ponente invitado)	Miguel Cabrera Bonet (Aranzada Gestión Forestal, S.L.P.)
12:30	Estimación de las variables de sotobosque y del dosel de copas relacionadas con el riesgo de incendios a partir de datos de un único escaneo con TLS	Cecilia Alonso Rego (Universidade de Santiago de Compostela)
12:45	Control de calidad de mediciones dasométricas mediante el uso de escáner laser terrestre (TLS) en el Inventario Forestal Continuo de Galicia	Joel Rodríguez Ruiz (Universidade de Santiago de Compostela)

13:00	Mesa redonda (Moderador: César Pérez Cruzado)	**Ver al final del programa
-------	---	-----------------------------

14:00	COMIDA	
-------	---------------	--

Taller		
16:00	Taller para el procesado y análisis de los datos tomados con el Escáner Láser Terrestre (TLS) mediante el paquete de R FORTLS	Juan Alberto Molina Valero, Adela Martínez Calvo y Óscar López Álvarez (Universidade de Santiago de Compostela)

17:45	PAUSA CAFÉ	
-------	-------------------	--

18:15	Taller para el procesado y análisis de los datos tomados con el Escáner Láser Terrestre (TLS) mediante el paquete de R FORTLS	Juan Alberto Molina Valero, Adela Martínez Calvo y Óscar López Álvarez (Universidade de Santiago de Compostela)
-------	---	---

03/09/2021		
Hora	Evento	Ponente
Taller (telemático)		
10:00	Fotogrametría digital. De imágenes a puntos y ortofotos: oportunidades para el diagnóstico y la gestión medioambiental	Damià Vericat Querol (Universitat de Lleida)

11:45	PAUSA CAFÉ	
-------	-------------------	--

12:15	Fotogrametría digital. De imágenes a puntos y ortofotos: oportunidades para el diagnóstico y la gestión medioambiental	Damià Vericat Querol (Universitat de Lleida)
-------	--	--

18:15	Taller para el procesado y análisis de los datos tomados con el Escáner Láser Terrestre (TLS) mediante el paquete de R FORTLS	Juan Alberto Molina Valero, Adela Martínez Calvo y Óscar López Álvarez (Universidade de Santiago de Compostela)
-------	---	---

03/09/2021		
Hora	Evento	Ponente
Taller (telemático)		
10:00	Fotogrametría digital. De imágenes a puntos y ortofotos: oportunidades para el diagnóstico y la gestión medioambiental	Damià Vericat Querol (Universitat de Lleida)
11:45	PAUSA CAFÉ	
12:15	Fotogrametría digital. De imágenes a puntos y ortofotos: oportunidades para el diagnóstico y la gestión medioambiental	Damià Vericat Querol (Universitat de Lleida)

*** Acto de apertura:**

Montserrat Valcárcel Armesto. Vicerreitora de Coordinación del Campus de Lugo da Universidade de Santiago de Compostela

Jose Luis Chan Rodríguez. Director Xeral de Planificación e Ordenación Forestal da Consellería do Medio Rural da Xunta de Galicia

Ulises Diéguez Aranda. Coordinador del Máster de Ingeniería de Montes de la Escola Politécnica Superior da Universidade de Santiago de Compostela.

César Pérez Cruzado. Coordinador del comité organizador del Workshop sobre Teledetección Próxima Terrestre para aplicaciones Forestales.

**** Mesa redonda**

Jacobo Aboal Viñas. Subdirector General de Recursos Forestales. Consellería do Medio Rural. Xunta de Galicia.

Carlos Iglesias Dapena. Responsable de compras en pie y aprovechamientos forestales de FINSA.

David Payá Prada. Jefe de Planificación Forestal en la dirección de Patrimonio Forestal. ENCE.

Juan Gabriel Álvarez González. Escuela Politécnica Superior de Ingeniería. Universidade de Santiago de Compostela.

Juan Picos Martín. Escuela de Ingeniería Forestal de Pontevedra. Universidade de Vigo

Juan Daniel García Villabril. Responsable de Inventario Forestal y Ordenación de Montes. CERNA Ingeniería

Jose Luis Tomé. Especialista en Inventario con LiDAR. AGRESTA

José Fernando Enjamio Gándaras. Decano del Colegio de Ingenieros Técnicos Forestales de Galicia.

Andrés Osoro Corsino. Representante de alumnos del Grado de Ingeniería Forestal y del Medio Natural e Ingeniería Agraria de la Universidad de Santiago de Compostela.

RESÚMENES

Clasificación automática de nubes de puntos terrestres en parcelas forestales

Carlos Cabo¹, Cristina Santin², Stefan Doerr³, Celestino Ordóñez⁴

¹Faculty of Science and Engineering, Swansea University, UK, Wallace Building, Singleton Campus, SA2 8PP, Swansea, UK

Email: Carloscabo.uniovi@gmail.com

²IMIB (CSIC-Uniova-CA), Edificio de Investigación, Campus de Mieres, 33600

Email: c.santin@csic.es

³Geography Dep, Swansea University, UK, Wallace Building, Singleton Campus, SA2 8PP, Swansea, UK

Email: s.doerr@swansea.ac.uk

⁴Dep. Explotación y Prospección de Minas, Universidad de Oviedo, Campus de Mieres, 33600

Email: cgalan.uniovi@gmail.com

INTRODUCCIÓN

El uso de nubes de escáneres láser terrestres para la caracterización e inventario de parcelas forestales se está extendiendo y diversificando rápidamente. En los últimos años han aparecido numerosos algoritmos para la automatización del procesamiento de las nubes de puntos forestales, y se han incorporado otras tecnologías de adquisición de datos: escáneres láser móviles personales y fotogrametría terrestre. La mayor parte de los esfuerzos están dirigidos a la automatización de inventarios forestales a nivel de parcela, de los que se obtienen parámetros básicos como diámetros normales y alturas. Sin embargo, aún queda mucho por hacer en caracterizaciones más complejas e inventarios de mayor detalle.

MÉTODO

En este trabajo se han implementado una serie de algoritmos para la clasificación de nubes de puntos terrestres de parcelas forestales en cuatro categorías: troncos, ramas+hojas, matorral, y hierba. Estos algoritmos son el fruto del desarrollo y adaptación de algoritmos previos para la automatización de inventarios forestales de precisión, y comparten con ellos gran parte de los procesos iniciales.

RESULTADOS

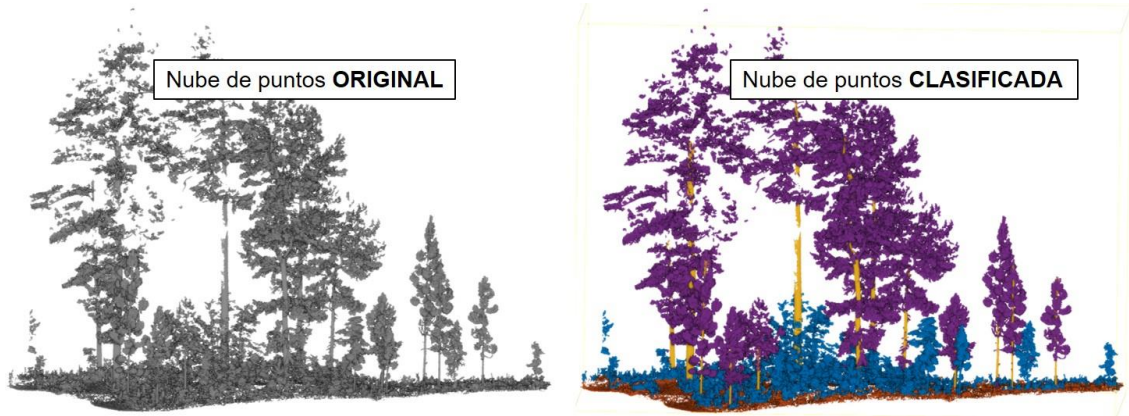
Los algoritmos han sido probados con datos de escáner láser estático, móvil personal y fotogrametría terrestre en parcelas con diferentes especies forestales, densidades y estructuras de vegetación. La precisión de la clasificación ha sido evaluada por comparación con la segmentación visual hecha por dos operadores distintos. Más del 90% de los puntos fueron correctamente clasificados en la mayor parte de los casos. Sin embargo, los porcentajes de acierto varían con la complejidad estructural de la vegetación y la densidad de puntos.

CONCLUSIONES

Los algoritmos desarrollados en este proyecto clasifican automáticamente nubes de puntos terrestres en parcelas forestales. El resultado es una caracterización tridimensional y espacialmente explícita de las estructuras de la vegetación de la parcela. Los datos de salida de

esta clasificación se pueden usar como entrada para modelos existentes de cuantificación de biomasa.

PALABRAS CLAVE: escáner láser estático; escáner móvil personal; fotogrametría terrestre; cuantificación biomasa; inventario forestal.



Un algoritmo para detección robusta de fustes en nubes obtenidas mediante SLAM basado en las leyes fundamentales de la mecánica clásica

Rubén Manso González¹, Carlos Cabo Gómez²

¹Forest Research, the research agency of the Forestry Commission, Northern Research Station, Bush Campus, EH25 9SY, Roslin, Reino Unido.

Email: ruben.manso@forestresearch.gov.uk

²Universidad de Oviedo.

Email: carloscabo.uniovi@gmail.com

INTRODUCCIÓN

Los escáners terrestres móviles que incorporan la tecnología SLAM son una alternativa eficaz a los tradicionales escáners fijos, al ser más apropiados en el sector de las operaciones e inventario forestal. Sin embargo, estos nuevos instrumentos son también menos precisos, lo que supone un reto a la hora de interpretar nubes de puntos de rodales con alta ramosidad en las secciones bajas de los fustes.

OBJETIVOS

Presentar un nuevo algoritmo de detección de fustes de gran robustez en estas condiciones.

MÉTODOS

El algoritmo está basado en la aplicación de las leyes de la mecánica newtoniana a nubes de puntos. Sucintamente, se asignan masas imaginarias a los puntos y se aplican dichas leyes físicas en iteraciones sucesivas en el plano XY. En cada iteración, el momento lineal de cada punto se actualiza, permitiéndose la fusión de puntos. El resultado es su agregación progresiva en las zonas de mayor masa por unidad de superficie, que normalmente corresponden a los fustes. El algoritmo converge cuando la posición de los puntos resultantes no varía significativamente. Estos puntos supermasivos finales idealmente representarían la localización de cada árbol. Al situarse suficientemente alejados de los otros, no ejercerían una acción gravitatoria significativa sobre los demás. El algoritmo se testó en nubes obtenidas con un escáner móvil ZEB-REVO en plantaciones de *Picea sitchensis* en Escocia. Los árboles presentaban abundantes ramas bajas y su interpretación mediante otros algoritmos resultaba insatisfactoria.

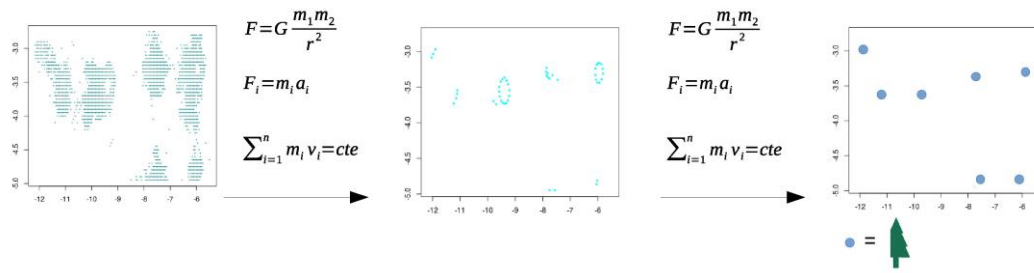
RESULTADOS

Nuestro algoritmo alcanza unos muy altos niveles de detección (>90%) comparado con otros métodos.

CONCLUSIÓN

Este nuevo algoritmo representa una solución fiable para detectar pies en nubes de puntos SLAM en condiciones de alta ramosidad, al menos en plantaciones. El método puede incorporarse como un módulo preliminar en aproximaciones geométricas de modelización de fustes. También puede usarse como método de validación de otros algoritmos de detección.

PALABRAS CLAVE: Mecánica clásica newtoniana; Escáner terrestre móvil; Plantaciones.



Estudio del efecto de la complejidad de la masa forestal para distintos tamaños de parcela en la detección de árboles y estimación de sus diámetros en base a escaneos únicos de escáner láser terrestre (TLS).

Adela Martínez Calvo, Juan Alberto Molina Valero

Departamento de Enxeñaría Agroforestal, Universidade de Santiago de Compostela, Escola Politécnica Superior de Enxeñaría, Universidade de Santiago de Compostela. Rúa Benigno Ledo s/n, Campus Universitario. 27002, Lugo (España)

Email: adela.martinez.calvo@usc.es; juanalberto.molina.valero@usc.es

INTRODUCCIÓN

Para valorar el uso operacional del escáner láser terrestre (TLS) en aplicaciones forestales, resulta de especial interés evaluar en primer lugar el funcionamiento de los algoritmos disponibles para el procesado de las nubes de puntos TLS y la extracción de información relevante a nivel forestal.

OBJETIVOS

En este trabajo se estudia el efecto de la complejidad de la masa forestal (densidad y clase diamétrica, presencia de matorral) y el tamaño de parcela en la detección de árboles y estimación de sus diámetros normales (DBH) mediante el paquete FORTLS de R.

MÉTODOS

Se consideró una parcela de 12 ha, en la que predomina el *Pinus radiata*, y que presentaba varias clases naturales de edad y matorral muy espeso en ciertas zonas. Se seleccionó un conjunto de puntos de muestreo, situados en las intersecciones de una malla regular de 20 m x 20 m, en los que se realizó un escaneo único inicial con TLS y otro tras ser desbrozada la parcela. Ambos se procesaron con FORTLS, obteniéndose los árboles detectados en cada caso. Con esta información, y la recopilada en campo mediante inventario convencional, se simularon parcelas circulares con radio creciente hasta 40 m y se estableció la correspondencia (o no) entre los árboles medidos en campo y los detectados.

RESULTADOS

Los mayores niveles de detección correspondieron a las parcelas con menor densidad y mayor DBH medio, sobre todo para radios grandes. En cuanto al DBH, en general, el algoritmo lo infraestima. Los resultados mejoran notablemente usando los datos TLS tras el desbroce.

CONCLUSIÓN

Tanto la complejidad de la masa como el tamaño de parcela afectan a la detección de árboles y la estimación de sus DBH. Estos resultados pueden ser un primer paso a la hora de establecer las fortalezas y debilidades del uso del TLS en aplicaciones forestales.

PALABRAS CLAVE: Escáner láser terrestre (TLS); FORTLS; detección de árboles; diámetro normal (DBH).

Extracción de atributos de árbol individual y caracterización forestal a nivel de masa: TLS vs. SLAM

Ana Solares, Laura Alonso, Juan Picos, Julia Armesto

Universidad de Vigo. Forestry Engineering School, University of Vigo—A Xunqueira Campus, 36005 Pontevedra, Spain

Email: ana.solares@uvigo.es; laura.alonso.martinez@uvigo.es; jpicos@uvigo.es; julia@uvigo.es

INTRODUCCIÓN

La realización de inventarios forestales es una de las principales necesidades del sector forestal, tanto para fines de gestión, explotación o conservación. Es esencial proporcionar conocimientos sobre la estructura y distribución de las masas forestales, y ser capaces de monitorear su evolución a lo largo del tiempo. Los dispositivos mecánicos y ópticos que se han utilizado tradicionalmente en inventarios forestales implican costosas campañas de campo y están limitados por las capacidades de observación del usuario. Desde la generalización de los sistemas LiDAR en ambientes profesionales, se ha mejorado significativamente la capacidad de analizar entornos forestales, proporcionando la posibilidad de digitalizar con precisión la estructura 3D de las masas. En los últimos 20 años, los sistemas LiDAR han evolucionado en rango, precisión, peso, portabilidad, protocolos de operación y técnicas de procesamiento de datos. También las plataformas de soporte han evolucionado, desde las aeronaves hasta sistemas de escaneo láser terrestre (TLS), UAV o los dispositivos portables más recientes. Las fortalezas de los TLS en aplicaciones forestales se han descrito frecuentemente en la literatura especializada. Sin embargo, pocos estudios han llevado a cabo el análisis de los sistemas LiDAR portables dada su novedad.

OBJETIVOS

Este estudio tiene como objetivo comparar un escáner láser portable GEOSLAM con un escáner láser terrestre (TLS) FARO y con dispositivos tradicionales, en términos de portabilidad, uso en campo, eficiencia del tiempo de escaneo, precisión de nube de puntos y métricas forestales alcanzables.

METODOLOGÍA

La adquisición de datos se llevó a cabo en una parcela de *Eucalyptus globulus* con un LiDAR portable de GEOSLAM, un TLS de FARO FOCUS y con herramientas tradicionales. Posteriormente se procesaron para obtener variables geométricas de árbol individual útiles en la caracterización de masas.

RESULTADOS

Se analizaron y compararon los resultados obtenidos sobre el tiempo de adquisición, la precisión de las variables medidas, la integridad de los datos y las limitaciones y fortalezas de cada método.

CONCLUSIÓN

La comparación de los LiDAR portables con TLS y con dispositivos tradicionales puede ser útil para establecer cuáles son las aplicaciones en las que los sistemas portables pueden ser útiles.

PALABRAS CLAVE: TLS; Portable Terrestrial LiDAR; point cloud; dendometric characterization.



Sistemas innovadores en mediciones forestales en el País Vasco: proyecto GO Fagus

Alejandro Cantero Amiano

HAZI. Granja Modelo de Arkaute s/n. 01192 Vitoria-Gasteiz
Email: acantero@hazi.es

INTRODUCCIÓN

El proyecto innovador GO Fagus está permitiendo a HAZI aplicar diversas técnicas novedosas en las mediciones de los hayedos. A diversas fuentes de información ya disponibles desde hace años (teledetección satelital o por fotogrametría aérea, láser TLS, barrenas) se le están añadiendo nuevos sistemas (láseres de mano, fotogrametría terrestre, resistografía) para abaratar y aumentar el volumen de datos de campo.

OBJETIVOS

- Testar nuevas herramientas y sistemas de toma de datos forestales
- Confrontar los resultados de estos métodos innovadores frente a otros métodos tradicionales
- Actualizar las ecuaciones de cubicación aplicables al haya
- Estimación en pie de la calidad de la madera
- Difundir los resultados entre socios y público en general

MÉTODOS

Los socios del proyecto han medido durante 2021 diversas parcelas de campo en los hayedos del norte de España, tomando un gran volumen de datos de árboles seleccionados. Algunas de esas parcelas son sólo de medición, por lo que las hayas siguen en pie tras las mediciones para poder seguir su evolución en el futuro. Otras parcelas acaban con la corta y extracción de las hayas seleccionadas hasta un aserradero. Ello supone que las mediciones tomadas con sistemas innovadores para estimar en pie el volumen y la calidad de la madera de haya son contrastadas en las piezas de madera aserradas.

RESULTADOS

Se ha seguido una metodología muy semejante a un anterior proyecto innovador, GO SIGCA-PiMa. Los primeros avances conseguidos son esperanzadores, aunque el citado proyecto GO Fagus aún está empezando y es pronto para presentar resultados finales.

CONCLUSIÓN

Los proyectos de innovación desarrollados en un periodo de tiempo limitado y por medio de diversos socios bien coordinados suministran resultados de gran interés para el sector forestal. Una adecuada discusión y difusión de esos resultados pueden mejorar futuros inventarios y trabajos de investigación.

PALABRAS CLAVE: Haya; parcelas; fotogrametría; escaneo; cubicación.

Estimación automática de la rectitud e inclinación de los fustes en individuos de *Pinus pinaster* a partir de datos TLS (Terrestrial Laser Scanning)

Covadonga Prendes Pérez¹, Carlos Cabo Gómez², Celestino Ordoñez Galán³, Juan Majada Guijo¹, Elena Canga Libano¹

¹Centro Tecnológico y Forestal de la Madera de Asturias (CETEMAS). Pumarabule s/n, 33936 Carbayín, Asturias, España
Email: cprendes@cetemas.es; jmajada@cetemas.es; ecanga@cetemas.es

²Facultad de Ciencias e Ingeniería. Universidad de Swansea. Singleton Campus. SA2 8PP, Swansea, Gales (Reino Unido).
Email: carloscabo.uniovi@gmail.com

³Departamento de Explotación y Prospección de Minas. Campus de Mieres. C/ Gonzalo Gutierrez Quiros s/n 33600.
Email: ordonezcelestino@gmail.com

INTRODUCCIÓN

La rectitud y la inclinación de los fustes, a pesar de su influencia en la calidad de la madera no son variables que se midan sistemáticamente en los inventarios tradicionales debido a la dificultad y subjetividad de su estimación.

OBJETIVO

El objetivo de este estudio fue doble (i) desarrollar una metodología para medir la rectitud y la inclinación de forma automática a nivel de árbol individual, a partir de datos tomados con un escáner laser terrestre (TLS) (ii) comparar los resultados obtenidos con mediciones realizadas por métodos tradicionales (clasificación visual categórica que agrupa los árboles en clases según su grado de rectitud e inclinación).

METODOLOGÍA

La metodología es aplicable a distintas tipologías de masa y especies, y se basa en dividir el tronco en una serie de secciones definidas por su centro y radio. A partir de ellas se calculan dos variables relacionadas con la rectitud (flecha máxima, sinuosidad) y el ángulo de inclinación del fuste con respecto a la vertical. En este estudio, la metodología se evaluó en una parcela de mejora genética de *Pinus pinaster* caracterizada por su gran variabilidad de caracteres morfológicos, y se compararon los resultados obtenidos, con métodos tradicionales.

RESULTADOS

Los valores medios obtenidos fueron los siguientes: (a) rectitud definida por (i) flecha máxima: $8.50 \text{ cm} \pm 0.05$ (ii) sinuosidad: 1.003 ± 0.018 e (b) inclinación: $85.96 \pm 2.61^\circ$. Se ha demostrado que los métodos tradicionales tienen muchas deficiencias a la hora de medir la rectitud y la inclinación, con poca capacidad para discriminar entre individuos con características diferentes.

CONCLUSIÓN

Nuestra metodología permite automatizar la estimación de la rectitud y la inclinación de los fustes a partir de nubes de puntos TLS. Esto solventa muchos de los problemas derivados del uso de técnicas categóricas de clasificación visual, aportando información objetiva y cuantificable numéricamente.

PALABRAS CLAVE: árbol individual; teledetección; rectitud; inclinación; metodología.

Comparación entre la determinación automática de diámetros y alturas de árboles con TLS y métodos de inventario tradicional.

Anna Katharina Kletschka¹, Gil Gonzalez Rodriguez¹, Carlos Cabo^{2,3}

¹INDUROT – Universidad de Oviedo. c/Gonzalo Gutierrez Quiros s/n – Mieres
Email: anna.kletschka@outlook.com; gil@uniovi.es

²Facultad de Ciencias e Ingeniería. Universidad de Swansea. Singleton Campus. SA2 8PP, Swansea, Gales (Reino Unido).
Email: carloscabo.uniovi@gmail.com

INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha popularizado el uso de escáneres láser terrestres para el inventario forestal de precisión. La unión y alineación de nubes de puntos de distintos escaneados y la extracción automática de elementos en estas nubes ha evolucionado enormemente. Sin embargo, la mayor parte de los algoritmos de referencia han sido desarrollados para su uso en entornos artificiales, mientras que los datos de parcelas forestales presentan una problemática y complejidad particulares. Por ello se requiere el uso y/o desarrollo de metodologías específicas para la explotación de nubes de puntos en entornos forestales, especialmente para inventarios de precisión.

OBJETIVOS

En este trabajo se abordan estos dos aspectos de forma específica para entornos forestales: el corrección o alineación de nubes, y la detección y medición de formas geométricas (detección de troncos y determinación de diámetros y alturas de árboles), utilizando dos algoritmos recientes para nubes inventario forestal.

MÉTODOS

Los métodos se han evaluado en una plantación de *Pinus sylvestris* de 6000 m² en el norte de León. La parcela se ha medido siguiendo un esquema regular de 16 escaneados con un escáner Focus^{3D} X 330, resultando 30 millones de puntos tras unión y filtrado de escaneados.

Se han comparado los datos obtenidos automáticamente con los algoritmos con las medidas de diámetros y alturas de inventario tradicional (forcípula e hipsómetro) de los 288 árboles presentes en la parcela.

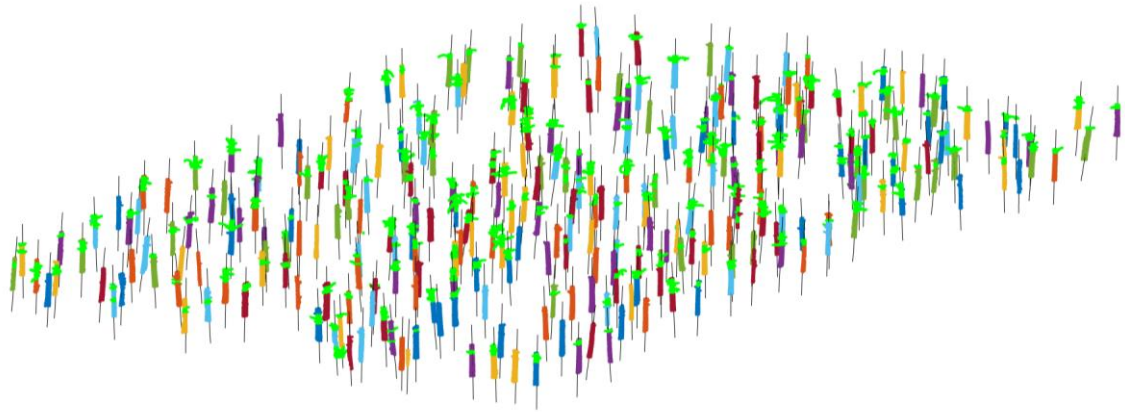
RESULTADOS

El algoritmo ha detectado un 99 % de los árboles. Ha determinado los diámetros (a 1,3 m sobre el suelo) y la altura de los árboles con una desviación media cuadrática respecto a las medidas tradicionales de 10 mm y 1,2 m respectivamente.

CONCLUSIÓN

Para las condiciones de este estudio, las medidas tradicionales forestales son más competitivas que el uso del TLS, aunque tiene gran potencial y futuro.

PALABRAS CLAVE: TLS; Dasometría; Dendrometría.



Aplicaciones fotogramétricas para el seguimiento de rodales maduros

Jose Luis Tomé Morán; Jose Antonio Navarro; Pablo Ascasibar Allona

Agresta S. COOP. C/Duque de Fernán Nuñez nº 2 Piso 1º
Email: jltome@agresta.org; janavarro@agresta.org; pascasibar@agresta.org

INTRODUCCIÓN

En la última década, gracias al desarrollo de nuevos métodos fotogramétricos y de los vehículos aéreos no tripulados (UAV), ha crecido el interés por el uso de imágenes para la creación de modelos 3D densos a bajo coste. Si bien el uso de UAV en el sector forestal está más extendido, la fotogrametría digital terrestre y su combinación con la aérea están poco estudiada.

OBJETIVOS

El objetivo de este trabajo fue testar el potencial de esta tecnología generando una serie de modelos 3D fotogramétricos para el seguimiento intensivo de detalle de un rodal maduro ubicado en la umbría de siete picos dentro del Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama.

MÉTODOS

Para la caracterización del dosel del rodal de 50x50 m se adquirieron imágenes aéreas mediante un vuelo UAV usando un cuadricóptero DJI Phantom 4, mientras que desde tierra se tomaron imágenes para levantar un subrodal de 20x20 m usando una cámara canon eos 6D. Todas las imágenes fueron procesadas con Agisoft Metashape para generar nubes de puntos y modelos 3D. Se tomaron puntos de control en terreno para la georreferenciación de ambos levantamientos combinando un GPS submétrico R2 y una estación total.

RESULTADOS

Se obtuvieron modelos 3D escalados y georreferenciados del rodal completo, del subrodal de 20x20 y de individuos singulares que representan fielmente el estado del mismo en el momento de la adquisición de imágenes. Estos modelos se han compartido a través del visor Potree en la siguiente dirección de enlace: <http://valsain.agrestaweb.org/>

CONCLUSIÓN

Este tipo de aplicaciones fotogramétricas no solo son de gran utilidad en la difusión utilizadas para dar acceso al gran público a zonas de reserva integral dentro de los espacios protegidos, sino que también pueden servir como base para analizar los cambios en estos ecosistemas comparando su evolución temporal en el tiempo.

PALABRAS CLAVE: Fotogrametría; Agisoft, Rodal Maduro; UAV.



Análisis comparativo de la estimación de variables de estructura forestal mediante datos de campo, TLS y UAV en individuos de *Pinus halepensis* Mill.

Jesús Torralba, Luis A. Ruiz, Juan Pedro Carbonell-Rivera, Pablo Crespo-Peremarch

Geo-Environmental Cartography and Remote Sensing Group (CGAT), Department of Cartographic Engineering, Geodesy and Photogrammetry, Universitat Politècnica de València. Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España
Email: jetorpe@upv.es; laruiz@cgf.upv.es; juacarri@upv.es; pabcrepe@upv.es

INTRODUCCIÓN

Las nubes de puntos generadas con láser escáner terrestre (TLS) o a partir de imágenes adquiridas con drones (UAV) se vienen aplicando exitosamente en la estimación de parámetros forestales. A pesar de los últimos avances aún es difícil sustituir el inventariado tradicional en determinados entornos forestales.

OBJETIVOS

Este estudio pretende investigar la sustitución de las mediciones de inventario tradicional por datos adquiridos con TLS y UAV.

MÉTODOS

Se midió el diámetro normal (Dn) y altura de 43 *Pinus halepensis*, se tomaron 11 escaneos TLS distribuidos en zigzag en un área de 260x35 m, y se realizó un vuelo fotogramétrico mediante UAV adquiriendo 144 imágenes. Empleando las imágenes se generó una nube de puntos que fue registrada con la nube TLS, la cual previamente había sido georreferenciada. En la nube TLS se segmentaron automáticamente los árboles tomando esta referencia para segmentar la nube UAV. Igualmente, se automatizaron las mediciones de Dn y altura, comparándose posteriormente con las mediciones tradicionales.

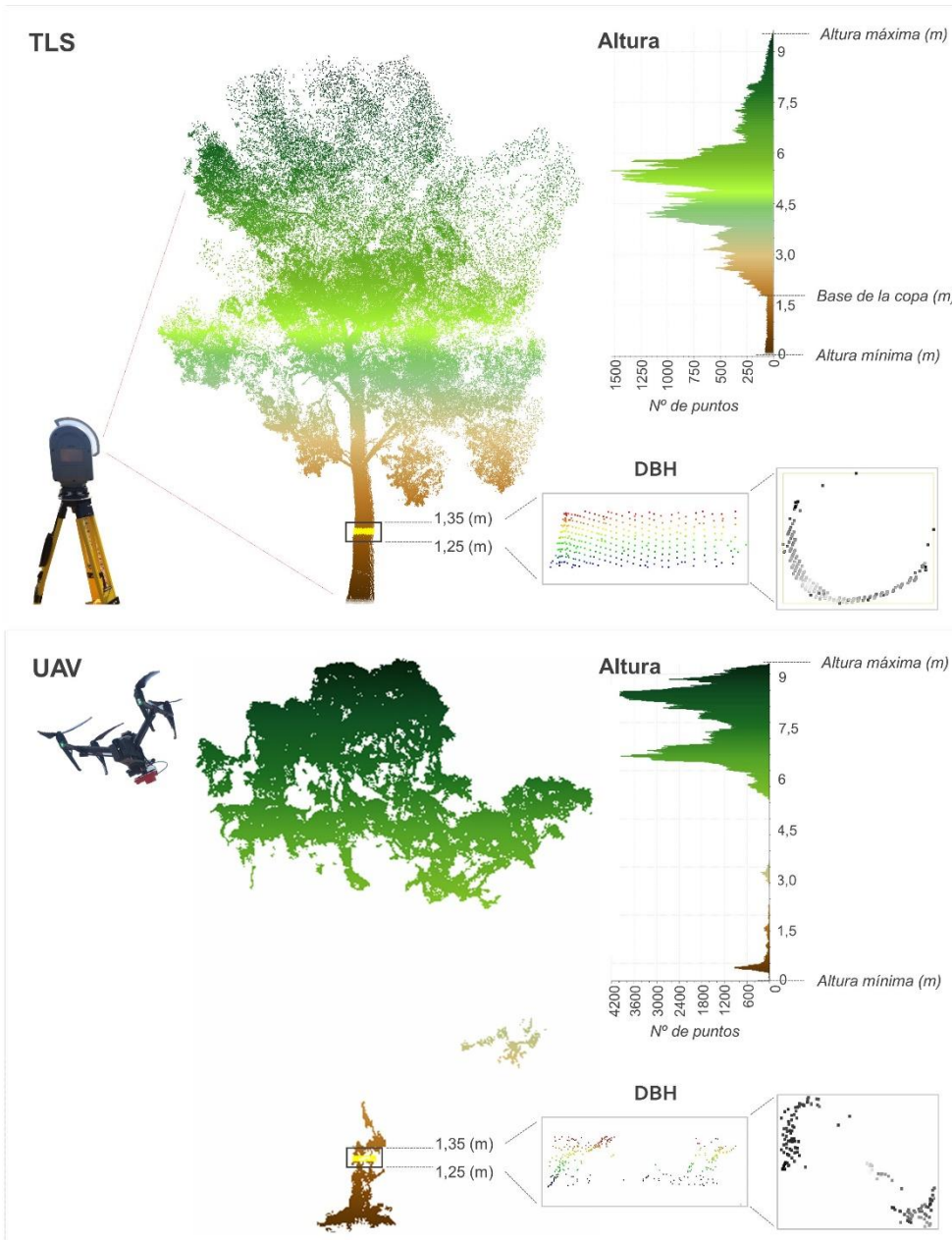
RESULTADOS

La segmentación identificó todos los árboles. El TLS estimó el Dn del 83,72% de los árboles con un R^2 de 0,92 y un RMSE de 1,85 cm. La nula penetración de la nube UAV impidió determinar el Dn. Respecto a la altura, el R^2 fue de 0,89 y 0,88 con un RMSE de 0,90 y 0,94 m para TLS y UAV, respectivamente. El bajo error de las alturas TLS fue debido a la baja densidad de árboles, previendo mayores errores en bosques densos.

CONCLUSIÓN

Estos resultados sugieren que las nubes TLS y UAV pueden sustituir a las técnicas de inventariado tradicional en ciertos entornos. La oclusión generada por la estructura de las copas fue el factor principal que afectó a la precisión de las estimaciones de Dn. En futuros trabajos se fusionarán las perspectivas de observación terrestre y aérea.

PALABRAS CLAVE: Láser Escáner Terrestre; nube de puntos; inventario forestal; altura; diámetro normal (Dn).



Sistemas LIDAR terrestres en aplicaciones forestales. Comparativa entre sistemas estáticos y dinámicos

David Cruz Josa, Paloma Mier Gutiérrez

GRAFINTA S.A. Av. Filipinas, 46. 28003 Madrid
Email: david@grafinta.com; paloma@grafinta.com

INTRODUCCIÓN

Se realiza un inventario forestal empleando tecnologías LIDAR: Sistemas estático LIDAR (TLS en inglés) y sistemas LIDAR dinámicos con tecnología SLAM.

OBJETIVOS

El objetivo de este trabajo ha sido identificar las ventajas e inconvenientes de ambas tecnologías en la elaboración de inventarios forestales.

MÉTODO

Sobre una única parcela de árboles de la especie *Pinus Pinaster* se realizó un levantamiento con ambos sistemas LIDAR con el objetivo de determinar variables dendométricas de interés forestal: altura y ancho del tronco, y cobertura vegetal. También se capturaron imágenes de los árboles. Posteriormente los datos se analizaron con software de segmentación y clasificación obteniéndose de forma automática a partir de la nube de puntos un listado Excel con los valores dasométricos de la parcela, así como la superficie y la coordenada de cada árbol.

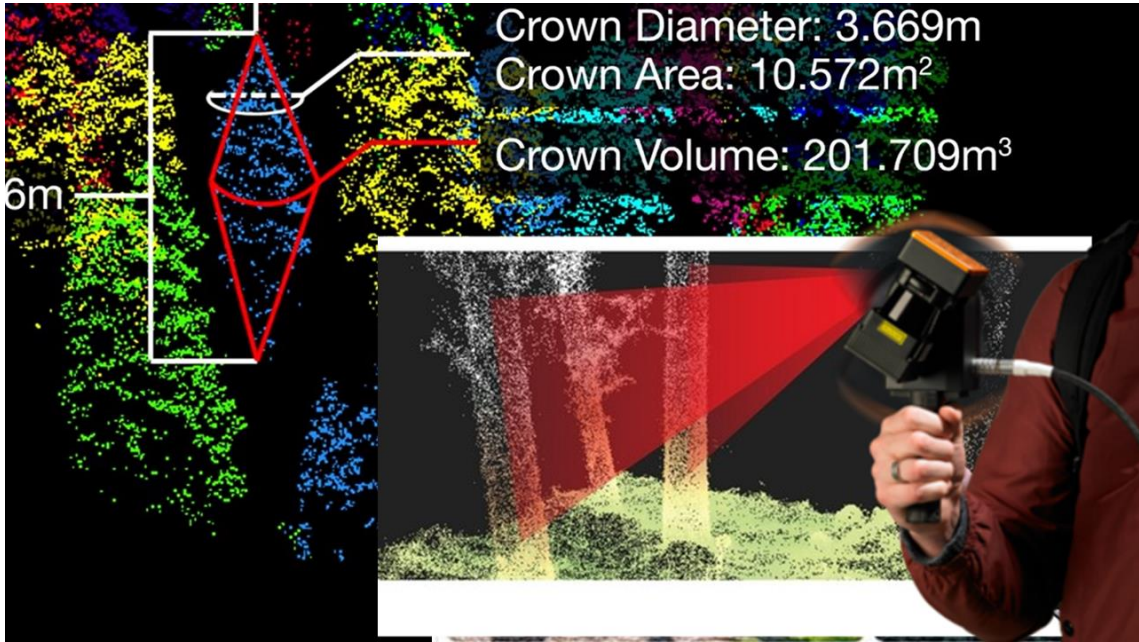
RESULTADOS

Se compararon ambas observaciones entre sí. En el escaneado estático con el TLS se realizaron 125 tomas de 2,5 min/toma lo que arrojo un total de 5,2 Horas. El procesado de los datos requirió 2 horas lo que hace un total de 7,2 Horas. La precisión media de los puntos Lidar en estático es de 2mm. En lo que se refiere al escaneado dinámico con tecnología Slam, los datos se tomaron en 15 minutos y el procesado de los datos llevo 30 minutos. El resultado global es de 45 minutos. La precisión media es de 2cm.

CONCLUSIÓN

Los sistemas SLAM, proporcionan una metodología más acorde con el desplazamiento a través de masas forestales reduciendo los tiempos de captura y haciendo posible trabajar entre masas densas llenas de monte bajo. Se reducen las precisiones frente a las metodologías basadas en escaneados estáticos con TLS, pero se mantienen dentro de las tolerancias exigidas en los inventarios forestales aportando una información mucho más rigurosa.

PALABRAS CLAVE: LIDAR; SLAM; Inventario Forestal; TLS; Segmentación.



Sistemas de mapeado móvil aplicados al inventariado forestal

Pablo Rodríguez González, Eduardo Manuel González Ferreiro

Escuela superior y técnica de ingenieros de minas. Universidad de León. Campus Universitario de Ponferrada, Avda. de Astorga s/n, 24401 Ponferrada (León)
Email: p.rodriguez@unileon.es; egonf@unileon.es

INTRODUCCIÓN

El inventario de la situación actual de un bosque, el seguimiento de su evolución pasada y la predicción de su más probable evolución futura, son elementos fundamentales para una buena gestión y consideración de los servicios ecosistémicos generados. Con el desarrollo de las técnicas geomáticas y las tecnologías de teledetección próxima, se ha optimizado la estimación de las variables forestales, en términos de precisión y eficiencia, en comparación con los inventarios forestales tradicionales. La aparición de los sistemas de mapeado portátil (PMMS – *Portable Mobile Mapping System*) permiten la adquisición de información 3D en movimiento en entornos complejos (p. ej. bajo el dosel del bosque), tanto en términos de oclusiones como de recepción de la señal GNSS.

OBJETIVOS

El objetivo es ofrecer una evaluación de los PMMS aplicados a los entornos forestales, para destacar las potencialidades y los retos de esta tecnología geomática. Se presenta una visión general de los estudios más recientes que emplean dichos sistemas para la extracción de variables forestales.

MÉTODOS

Se realiza una evaluación cualitativa de los PMMS en las aplicaciones forestales, comparada con los sistemas láser estáticos y de mapeado móvil convencional. La evaluación se basa en las especificaciones técnicas de los sensores y en los parámetros cualitativos, de forma similar a otras evaluaciones de idoneidad.

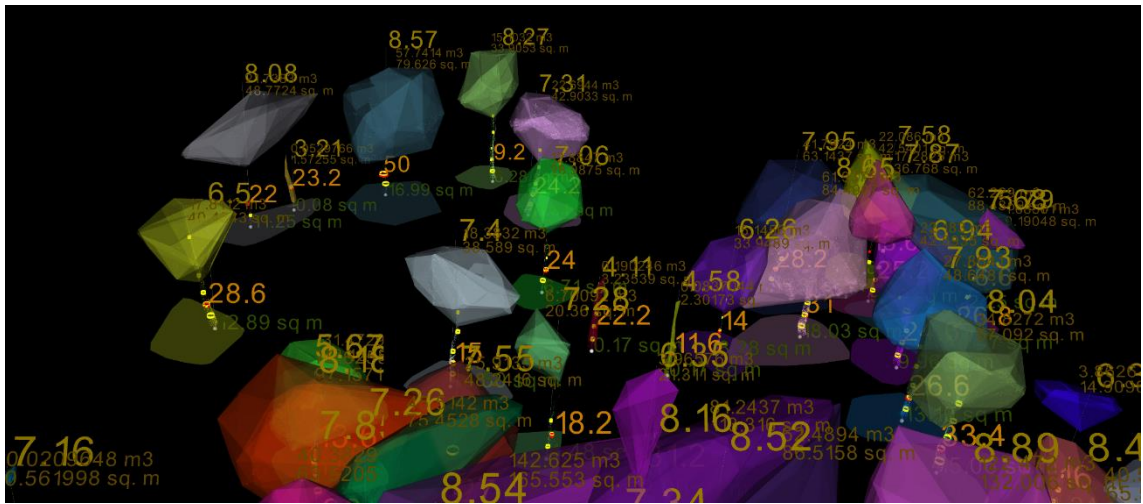
RESULTADOS

El análisis se centra en los puntos fuertes y débiles en diferentes contextos, y la elección del sistema adecuado para un estudio concreto, que requiere a menudo un análisis cuidadoso de sus prestaciones. Se analizará su capacidad para la documentación de diferentes variables de interés.

CONCLUSIÓN

Gracias a esta visión general de los PMMS, se proporcionan unas orientaciones generales al usuario final, en aspectos claves para elegir el sistema más adecuado y la metodología más eficiente para un rendimiento óptimo en función de las circunstancias de campo.

PALABRAS CLAVE: Escaneado láser; Mapeado móvil; SLAM; Inventario forestal; Geomática.



Modelización de variables de rodal de interés forestal en base a métricas y variables obtenidas mediante Escáner Láser Terrestre (TLS) con el paquete de R FORTLS

Óscar López Álvarez¹, Juan Alberto Molina Valero¹, Adela Martínez Calvo¹, César Pérez Cruzado²

¹Escuela Politécnica Superior de Ingeniería, Campus Terra. Universidade de Santiago de Compostela (Lugo).
Email: oscarlopez_96@hotmail.com; juanalberto.molina.valero@usc.es; adela.martinez.calvo@usc.es

²Departamento de Producción Vegetal y Proyectos de Ingeniería. Escola Politécnica Superior de Ingeniería. Benigno Ledo s/n 27002 Lugo
Email: cesar.cruzado@usc.es

INTRODUCCIÓN

La estimación de las existencias de un monte se lleva a cabo mediante la realización de un inventario forestal (IF), normalmente basado en mediciones de campo. Con la intención de mejorar ciertos aspectos del IF, se introdujo el escáner láser terrestre o TLS (Terrestrial laser scanner) por su alto potencial.

OBJETIVOS

Explorar el potencial de las nubes de puntos generadas con el TLS en escaneos únicos para la predicción de las principales variables de rodal estimadas en IF utilizando métricas y variables obtenidas mediante FORTLS, un paquete de R diseñado para el procesamiento automático de nubes de puntos de escaneos únicos TLS con fines forestales.

MÉTODOS

Los datos experimentales se obtuvieron de una parcela de 5.25 ha poblada principalmente por pino marítimo e insigne. Se estableció un muestreo sistemático basado en una malla cuadrada desde cuyas intersecciones se realizaron escaneos únicos. Posteriormente, se exploró el potencial de las métricas y variables para modelizar variables de rodal, tales como número de pies (N), diámetro medio aritmético y dominante (\bar{d} , d_0), altura media aritmética y dominante (\bar{h} , H_0), diámetro medio cuadrático (d_g), área basimétrica (G), volumen (V) y biomasa (W). La exploración de dicha relación se realizó mediante el ajuste de modelos de regresión paramétricos, utilizando linealizaciones Box-Cox y métodos de selección de variables de pasos sucesivos (*Stepwise regression*).

RESULTADOS

Se ha obtenido que para \bar{d} , d_0 , \bar{h} , H_0 y d_g se han ajustado buenos modelos, ya que se obtienen estadísticos de bondad del ajuste altos (R_2 entre 0.96 y 0.88). Por el contrario, para N , G , V y W los modelos ajustados no mostraron buenos estadísticos (R_2 entre 0.28 y 0.77).

CONCLUSIÓN

FORTLS puede considerarse una herramienta adecuada para la estimación de \bar{d} , d_0 , \bar{h} , H_0 y d_g asistida por modelos en el tipo de masas estudiadas en este trabajo.

PALABRAS CLAVE: Inventario Forestal; LiDAR; teledetección próxima terrestre; modelización; Software R.

Evaluación del uso del Escáner Láser Terrestre en inventario forestal a escala de monte. Un caso de estudio en base a la estimación de la biomasa arbórea

Juan Alberto Molina-Valero¹, Óscar López Álvarez¹, Adela Martínez-Calvo¹, César Pérez-Cruzado²

¹Unidad de Gestión Ambiental y Forestal Sostenible, Departamento de Ingeniería Agroforestal, Escuela Politécnica Superior de Ingeniería, Universidade de Santiago de Compostela. Rúa Benigno Ledo s/n, Campus Terra. 27002, Lugo
Email: juanalberto.molina.valero@usc.es; oscarlopez_96@hotmail.com; adela.martinez.calvo@usc.es

²Departamento de Producción Vegetal y Proyectos de Ingeniería. Escola Politécnica Superior de Ingeniería. Benigno Ledo s/n 27002 Lugo
Email: cesar.cruzado@usc.es

INTRODUCCIÓN

El Escáner Láser Terrestre (TLS) es un dispositivo fácilmente portable que permite representar el entorno próximo de una forma rápida, automática y con una alta precisión; lo cual lo convierte en una de las herramientas con mayor potencial para mejorar las metodologías convencionales de inventario forestal (IF).

OBJETIVOS

El objetivo de este trabajo ha sido comparar los errores cometidos en la estimación de la biomasa arbórea entre técnicas de inferencia estadística convencional (muestreo sistemático) y asistida por modelos mediante el uso de información auxiliar generada con TLS.

MÉTODOS

Para llevar a cabo este trabajo se utilizó una parcela de 12 ha completamente inventariada perteneciente a una masa dominada por *Pinus radiata*. En ella se estableció un muestreo sistemático en base a una malla regular de 20 m de lado, desde cuyas intersecciones se realizaron escaneos únicos con TLS y se simularon parcelas de 15 m de radio. Los datos de TLS fueron procesados con el paquete de R FORTLS, el cual permitió obtener métricas y variables que fueron empleadas en el ajuste de los modelos predictivos utilizados en la inferencia asistida por modelos. Para ambas metodologías se redujo la intensidad de muestreo de forma progresiva y se calculó el error estándar.

RESULTADOS

El error estándar siempre fue mayor con las metodologías basadas en muestreos sistemáticos. Este además sufrió un incremento exponencial a medida que se redujo la intensidad de muestreo, mientras que para las metodologías asistidas por modelos apenas aumentó.

CONCLUSIÓN

La estimación de la biomasa a escala de monte y para este caso de estudio, ha resultado ser más exacta para un inventario asistido por modelos en base información auxiliar generada con TLS. Los resultados aquí mostrados contribuyen a avanzar en el conocimiento que pueda consolidar al TLS como una herramienta operativa para su uso en IF.

PALABRAS CLAVE: FORTLS; LiDAR; inferencia asistida por modelos; métodos de masa; escaneo único.

Modelos de estimación de existencias en las plantaciones con clones de *Populus* × euroamericana y *P.* × interamericana empleando datos de escáner láser terrestre

M. Flor Álvarez Taboada¹, Fernando Castedo Dorado¹, Eduardo González Ferreiro¹, Pablo Rodríguez González¹, Joaquín Garnica López²

¹Escuela de Ingeniería Agraria y Forestal. GEOINCA GI-202. Universidad de León. Avd. de Astorga sn 24400 Ponferrada (León)

Email: flor.alvarez@unileon.es; fcasd@unileon.es; egonf@unileon.es; p.rodriguez@unileon.es

²Bosques y Ríos SLU. Parque San Miguel, nº 10, 26007, Logroño, La Rioja

Email: Joaquin.garnica@bosquesyrios.com

INTRODUCCIÓN

La mayor parte de las choperas en España pertenecen a propietarios privados. Estos gestores necesitan modelos sencillos para estimar el volumen producido por las mismas. Tradicionalmente, la elaboración de estos modelos se llevaba a cabo usando datos obtenidos mediante muestreos destructivos. La aparición de los escáneres láser terrestres (*Terrestrial Laser Scanner*, TLS) permite hacer estos inventarios de forma rápida y no destructiva.

OBJETIVOS

Elaborar una herramienta de cubicación a partir de mediciones TLS que permita a los propietarios estimar, de forma precisa y operativa, las existencias de madera para los clones de mayor interés comercial en Castilla y León ('I-214', 'MC', 'Raspalje', 'Unal' y 'Beaupre').

MÉTODOS

Para el ajuste y validación de los modelos de estimación de existencias se han establecido 36 parcelas en campo, con edades entre 7 y 17 años, donde se han escaneado con TLS y medido las circunferencias normales de 256 pies. A partir de la nube de puntos depurada se han obtenido las secciones (diámetros) en tramos de 1 m para cada pie. Para determinar la exactitud del TLS en estas estimaciones se han apeado 2 pies de cada clon y se han medido con cinta las secciones en los mismos tramos. Finalmente, se han ajustado funciones de perfil y modelos de estimación de volumen total y comercial para cada uno de los clones.

RESULTADOS

Los resultados muestran errores inferiores al 3 % en la estimación de diámetros a diferentes alturas, con diferentes valores según el clon analizado.

CONCLUSIÓN

Este método permite obtener funciones de perfil y de estimación de volúmenes comerciales de forma precisa mediante inventarios no destructivos. Este aspecto es muy relevante en choperas, puesto que permite una sencilla actualización de estos modelos para los nuevos clones que vayan testándose, sin tener que esperar a la edad de corta.

PALABRAS CLAVE: TLS; chopo; volumen; funciones de perfil; inventario no-destructivo.

Caracterización de la distribución horizontal de biomasa en árboles individuales mediante TLS: aplicaciones para inventario forestal.

César Pérez Cruzado¹; Nils Nölke; Lutz Fehrmann²; Juan Gabriel Álvarez González³; Paul Magdon²; Steen Magnussen⁴; Christoph Kleinn²

¹Departamento de Producción Vegetal y Proyectos de Ingeniería. Escola Politécnica Superior de Ingeniería. Benigno Ledo s/n 27002 Lugo
Email: cesar.cruzado@usc.es

²Chair of Forest Inventory and Remote Sensing. Georg-August Universität Göttingen. Büsgenweg 5 37077 Göttingen (Alemania)
Email: nnolke@gwdg.de; lfehrma@gwdg.de; pmagdon@gwdg.de; ckleinn@gwdg.de

³Departamento de Ingeniería Agroforestal. Escola Politécnica Superior de Ingeniería. Benigno Ledo s/n 27002 Lugo
Email: juangabriel.alvarez@usc.es

⁴Canadian Forest Service, Natural Resources Canada. Victoria, BC V8Z 1M5 (Canada)
Email: steen.magnussen@nrcan.gc.ca

INTRODUCCIÓN

A efectos de muestreo la biomasa de árbol individual se ha venido considerando localizada en la posición adimensional del eje del árbol. Sin embargo, esta variable se distribuye de forma continua, sin que a día de hoy se hayan desarrollado modelos completos de distribución horizontal de biomasa (HBD) ni se haya estudiado el efecto de esta consideración sobre el desempeño del muestreo.

OBJETIVOS

Los objetivos de este trabajo son evaluar: 1) el desempeño del TLS para la caracterización de la HBD, y 2) el efecto de la consideración de la biomasa como una variable continua o puntual sobre el desempeño del muestreo.

MÉTODOS

Se muestrearon destructivamente 23 árboles de haya (17 escaneados con TLS) para caracterizar empíricamente la HBD de ramas. Se han aplicado los modelos de HBD en una parcela de 2 ha con censo completo localizada en Göttingen (Alemania) y se han simulado distintos diseños de parcela para las dos hipótesis consideradas en cuanto a HBD. Finalmente, se ha evaluado su desempeño para el muestreo de biomasa a nivel de rodal.

RESULTADOS

La HBD empírica de ramas se ha modelizado mediante modelos habituales en el ajuste de funciones de perfil, debido a la similitud en la forma. Se ha desarrollado un índice basado en datos TLS con una elevada similitud con la distribución empírica de HBD de ramas. Las simulaciones en la parcela completa muestran que la consideración de la biomasa como una variable continua permite reducir el tamaño de muestra con respecto a la consideración puntual en 10.4-27.1% para un error objetivo del 5%, dependiendo del diseño de parcela.

CONCLUSIÓN

El TLS ha mostrado un buen desempeño para la caracterización de la HBD de árbol individual. La consideración de la biomasa como una variable continua reduce los errores de muestreo de biomasa a nivel de rodal.

PALABRAS CLAVE: Superficie de muestreo; error de muestreo; monitorización; diseño de parcela.

Aspectos prácticos de la Utilización de ForeStereo para el inventario a escala monte

Miguel Cabrera Bonet¹, Fernando Montes Pita², Juan Del Barrio Markaida³

¹Aranzada Gestión Forestal, S.L.P. C/Benjamín, 27, 28039 – Madrid
Email: mcabrera@aranzadagf.com

²Centro de Investigación Forestal (INIA, CSIC), Ctra. De la Coruña km 7,5, 28040 Madrid.
Email: fmontes@inia.es

ZUMAIN Ingenieros, S.L.
Email: jbarrio@zumain.es

INTRODUCCIÓN

Se presentan aspectos prácticos del uso del ForeStereo tanto por su utilización en campo, como en gabinete. Se analiza el caso particular del proceso de datos para el inventario de los montes de Valsaín.

OBJETIVOS

Analizar las funcionalidades del ForeStereo para comprobar su utilidad para los inventarios para la elaboración de instrumentos de planificación forestal.

MÉTODOS

Con el uso del ForeStereo, (dispositivo para la medición estereoscópica del arbolado de una parcela a partir del análisis de dos imágenes hemisféricas cenitales), se ha realizado un inventario (muestreo sistemático con parcelas situadas en una malla cuadrada de 200 m x 200 m) sobre los 13 estratos definidos para los montes de Valsaín. Se midió una submuestra del 12% de las parcelas del inventario simultáneamente con forcípula y ForeStereo, para calibrar los datos del inventario medidos con ForeStereo y determinar qué proceso de datos es el que mejor se ajusta a cada estrato, en función de la corrección o no de oclusiones, y con diferentes radios de parcelas.

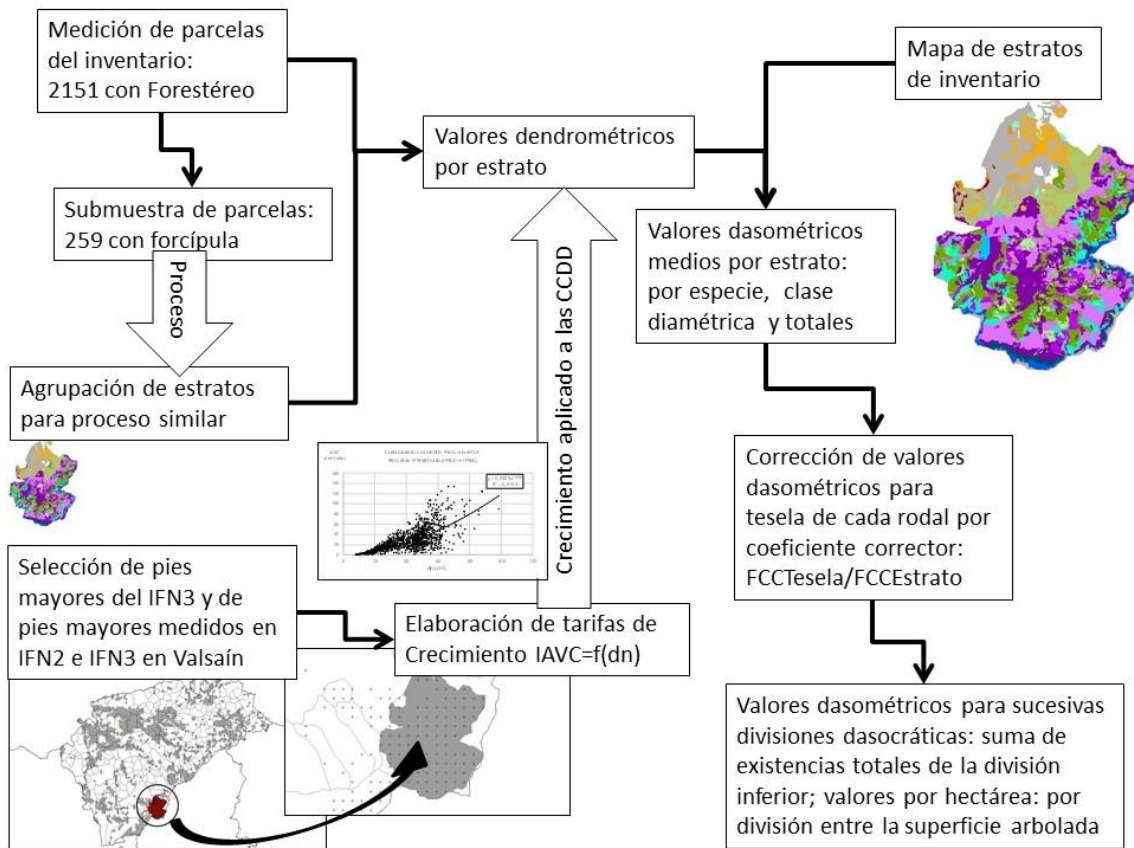
RESULTADOS

Para cada estrato, para las parcelas medidas simultáneamente con ForeStereo y con forcípula, se han realizado, por tanto, 28 procesos de datos, para determinar el mejor procedimiento de inventario para el estrato. También se ha empleado en determinados casos una tarifa de cubicación propia en lugar de la cubicación que ofrece el propio programa del ForeStereo.

CONCLUSIÓN

Los resultados del inventario son similares a cualquier otro procedimiento de inventario por muestreo; la ventaja del ForeStereo sobre el procedimiento de inventario tradicional con forcípula es el incremento del rendimiento de los trabajos de campo entre un 33% y un 66%.

PALABRAS CLAVE: ForeStereo, inventario, muestreo sistemático



Estimación de las variables de sotobosque y del dosel de copas relacionadas con el riesgo de incendios a partir de datos de un único escaneo con TLS

Cecilia Alonso Rego¹; Stéfano Arellano-Pérez¹; Juan Alberto Molina-Valero¹; Adela Mertínez-Calvo¹; César Pérez-Cruzado²; Fernando Castedo-Dorado³; Juan Gabriel Álvarez-González¹; Ana Daría Ruiz-González¹

¹Unidad de Gestión Ambiental y Forestal Sostenible (UXAFORES), Departamento de Ingeniería Agroforestal, Escuela Politécnica Superior de Ingeniería, Universidade de Santiago de Compostela. Benigno Ledo s/n, Campus Terra, 27002 Lugo, España.

Email: c.alonso.rego@usc.es; stefano.arellano@usc.es; juanalberto.molina.valero@usc.es; adela.martinez.calvo@usc.es; juangabriel.alvarez@usc.es; anadaria.ruiz@usc.es

²Proyectos y Planificación (PROEPLA), Departamento de Ingeniería Agroforestal, Universidade de Santiago de Compostela. Escuela Politécnica Superior de Ingeniería, Benigno Ledo s/n, Campus Terra, 27002 Lugo, España.

Email: cesar.cruzado@usc.es

³Departamento de Ingeniería y Ciencias Agrarias, Universidad de León. Campus de Ponferrada, 24401 Ponferrada, España.

Email: fcasd@unileon.es

INTRODUCCIÓN

Los incendios están entre las perturbaciones más destructivas de los bosques, causando importantes daños económicos y ecológicos. Las características estructurales y la carga de los combustibles del sotobosque y del dosel de copas afectan al comportamiento del fuego, regulando su velocidad de propagación, la intensidad lineal o la longitud de llama.

OBJETIVOS

Por tanto, caracterizar con precisión estos combustibles es esencial para obtener predicciones fiables de los simuladores de comportamiento del fuego que sirvan de apoyo en las decisiones de gestión del combustible y/o para predecir el peligro de incendio.

MÉTODOS

Los datos provienen de una red de ensayo de claras con 102 parcelas en rodales de *Pinus radiata* y *Pinus pinaster* en el Noroeste peninsular. En cada parcela se inventarió la carga de combustible de sotobosque y de dosel y se estimaron las principales variables relacionadas con el riesgo de incendio: carga de combustible de sotobosque (SFL), distancia vertical entre estratos de combustible de sotobosque y copa (FSG), altura del sotobosque ($\bar{h}_{\text{matorral}}$), altura media del rodal (\bar{h}), altura de la base del dosel de copas (CBH) y densidad aparente del dosel (CBD). Además, se realizó un escaneo con TLS y se calcularon una serie de métricas a partir de la nube de puntos.

RESULTADOS

Con estos datos se construyeron modelos de estimación de las variables relacionadas con el riesgo de incendios a partir de métricas del TLS empleando tres metodologías: Multivariate adaptive regression splines (MARS), support vector machine (SVM) y RandomForest (RF). En general, los mejores resultados se obtuvieron con MARS con una variabilidad explicada entre el 30.87% para SFL y el 92.99% para \bar{h} .

CONCLUSIÓN

Los resultados sugieren que un único escaneo de TLS podría ser una alternativa interesante a los inventarios tradicionales para estimar variables de combustible de sotobosque y del dosel a gran escala.

PALABRAS CLAVE: Canopy bulk density (CBD); Canopy Base Height (CBH); Fuel Strata Gap (FSG); carga de combustible del sotobosque.

Control de calidad de mediciones dasométricas mediante el uso de escáner laser terrestre (TLS) en el Inventario Forestal Continuo de Galicia.

Joel Rodríguez Ruiz¹, Juan Alberto Molina Valero¹, Adela Martínez Calvo¹, César Pérez Cruzado²

¹Escuela Politécnica Superior de Ingeniería, Campus Terra. Universidade de Santiago de Compostela (Lugo).
Email: oscarlopez_96@hotmail.com; juanalberto.molina.valero@usc.es; adela.martinez.calvo@usc.es

²Departamento de Producción Vegetal y Proyectos de Ingeniería. Escola Politécnica Superior de Ingeniería. Benigno Ledo s/n 27002 Lugo
Email: cesar.cruzado@usc.es

INTRODUCCIÓN

Los inventarios forestales son sistemas de recopilación de información que permiten conocer el estado de una superficie arbolada y monitorizar su evolución. Un factor importante en los inventarios forestales es la calidad de las mediciones, la cual se evalúa mediante remediciones de parcelas de campo. Para este fin podría ser interesante el uso de dispositivos con tecnología de teledetección basada en láser, como puede ser el escáner láser terrestre (TLS), debido entre otros motivos a su elevada eficiencia y a la transparencia, objetividad y verificabilidad de este tipo de datos.

OBJETIVOS

El objetivo principal de este trabajo es estudiar el potencial y aplicabilidad del TLS en el control de calidad de los inventarios forestales a gran escala.

MÉTODOS

Como caso de estudio se usa la red de parcelas del Inventario Forestal Continuo de Galicia (IFCG). El muestreo piloto del IFCG consiste en parcelas rectangulares sobre una malla de 8x8 kilómetros, que a su vez se dividen en subparcelas en función del estrato que las conforman. Las parcelas han sido medidas por los equipos de campo, y remedidas por equipos independientes y escaneadas mediante TLS en el centro de cada subparcela.

Con esta información se realiza una comparativa entre los resultados del control de calidad realizado con métodos convencionales y el realizado con el TLS.

RESULTADOS

En este estudio se observa que los resultados del control realizado con TLS presentan un desempeño similar a los métodos convencionales hasta una distancia de unos 10m. El método mediante escaneo único presenta limitaciones en cuanto al número de árboles detectados y la presencia de matorral.

CONCLUSIÓN

El control de calidad de mediciones dasométricas mediante escaneo único de TLS es viable, si bien son necesarias adaptaciones del diseño muestral para evitar interferencias de matorral y oclusiones por objetos próximos.

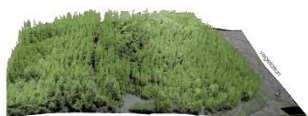
PALABRAS CLAVE: FORTLS; TLS; Inventario; Control; Calidad.

SPONSORS

 **Álava Ingenieros**
GRUPO ÁLAVA

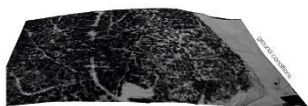
LÁSER ESCÁNER EN ENTORNOS FORESTALES

Obten levantamientos 3D de forma rápida y eficiente



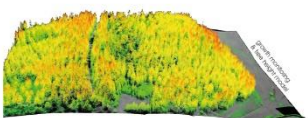
VEGETACIÓN

Debido a las velocidades de escaneo extremadamente altas, la tecnología LiDAR proporciona una nube de puntos de alta densidad excepcional, lo que lo hace ideal para aplicaciones forestales.



CONDICIONES DEL TERRENO

La excelente tasa de penetración de la vegetación da como resultado un alto número de retornos del suelo que se pueden utilizar para generar modelos de terreno muy detallados.



MONITORIZACIÓN Y MODELADO DEL CRECIMIENTO DE ÁRBOLES

Todos los puntos clasificados como vegetación se pueden colorear según la altura relativa sobre el suelo. Esto da como resultado un modelo de estimación relativa de los árboles que revela regiones de rodales de vegetación baja y alta. Las tasas de crecimiento se pueden documentar mediante la comparación de modelos de altura recopilados durante un período de tiempo.



ARBUSTOS Y NATURALEZA MUERTA

La maleza de un bosque está formada por arbustos y semillas. Desempeña un papel importante en el ecosistema forestal y es el hábitat para la vida silvestre y de aves.



TERRENO DESCUBIERTO

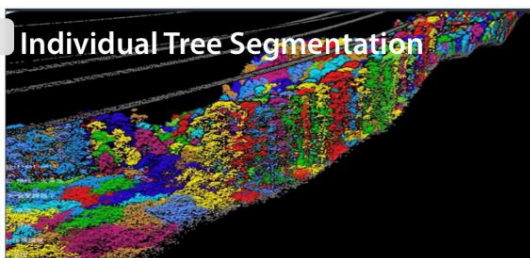
Con todos los datos de vegetación eliminados, los puntos restantes definen un modelo de terreno muy detallado. Este modelo revela claramente carreteras y trincheras, así como los resultados de la inestabilidad y erosión de las pendientes.

Inventario forestal con Tecnología Lidar/Slam

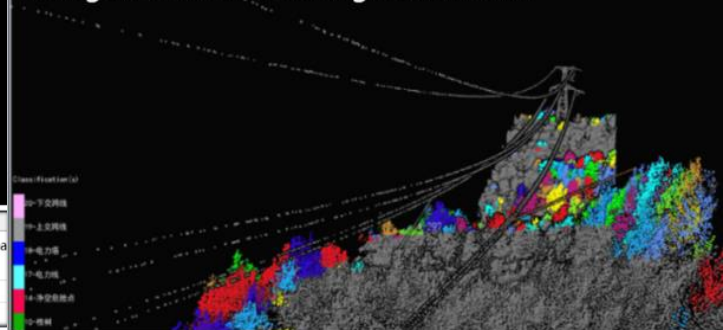


Sistemas de captura de datos en campo y software para obtención de los siguientes resultados digitales:

- Segmentación de la nube de puntos forestal en árboles individuales
- Determinación de densidad forestal y niveles de estocaje, automáticamente
- Determinación a través de análisis de regresión de parámetros como almacenaje de carbono, cálculo de biomasa aérea, volúmenes de madera, etc.
- desbrozado bajo líneas eléctricas
- Modelos digitales del terreno



Dangerous Points among Power Lines



eLocationX	TreeLocationY	TreeHeight	CrownDiameter	CrownArea
7943.050	2564153.460	55.610	3.321	8.662
7949.690	2564155.070	55.500	3.696	10.726
7933.110	2564152.830	53.780	6.905	37.444



Avda. Filipinas, 46
28003 Madrid
Tfo. 91 5537207
Fax 91 5336282

E-mail grafinta@grafinta.com