



Foto: Jorge Basso

TELEDETECCIÓN PARA EL MANEJO FORESTAL: aportes a una tecnología de uso creciente en Uruguay

Ing. Agr. Dr. Andrés Hirigoyen

Becario INIA, Programa de Investigación en Producción Forestal

La adopción de la teledetección cobra gran importancia en la gestión forestal, ya que se orienta a la caracterización de grandes áreas heterogéneas, reduciendo las incertidumbres de la inferencia, los tiempos y los costos de inventario. En este artículo se realiza una introducción a estas tecnologías y algunos de los aportes para su uso en el área forestal, realizados en el marco de una tesis de doctorado con apoyo de una Beca de Excelencia INIA.

TELEDETECCIÓN E INVENTARIO FORESTAL TRADICIONAL

La teledetección consiste en la adquisición y procesamiento de datos de la superficie terrestre sobre diferentes plataformas a distancia del objeto medido. En el ámbito forestal las plataformas de mayor uso son los sensores activos como el LiDAR (Light Detection and Ranging), que emiten y capturan radiación generando

la información; y los sensores pasivos como satelitales o drones que registran la energía electromagnética en diferentes longitudes de onda, como resultado de la interacción de la energía solar con el objeto en estudio (Chuvienco-Salineró, 1996). El empleo de sensoramiento remoto para cubrir grandes áreas permite optimizar los tiempos pre y post procesamiento, los recursos humanos y económicos y abarcar áreas de difícil acceso para un inventario tradicional (Stereńczak *et al.*, 2018).

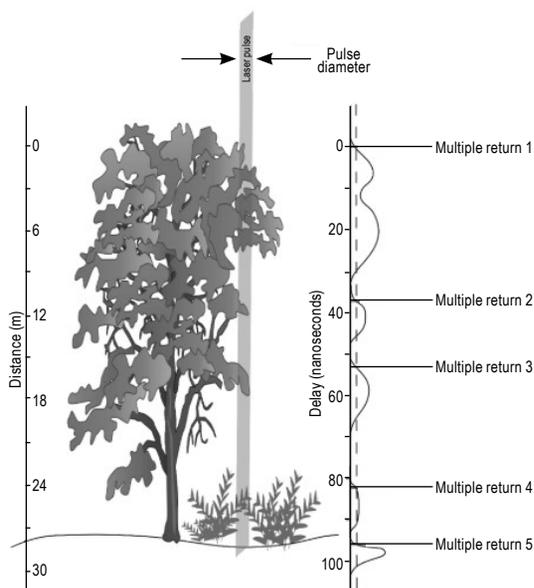


Figura 1 - Pulso y su división en múltiples retornos (tomado de García, 2010).

La posibilidad de relacionar las variables obtenidas en parcelas de inventario, con variables obtenidas por sensoramiento remoto, permite expandir la estimación y cuantificación. El uso de datos de teledetección, incluso combinando información de sensores activos y pasivos, es una alternativa viable para realizar relevamientos a gran escala y con mayor velocidad que los inventarios tradicionales. Sin embargo, el uso de datos procedentes de sensores remotos no sustituye completamente al inventario de campo tradicional; el inventario en parcelas de calibración es imprescindible como nexo entre los datos de teledetección y la realidad del rodal. El replanteo de los componentes del inventario como el tipo de parcela, la forma, la intensidad de muestreo, etc. dependerá de la estructura y de la homogeneidad del rodal, los cuales se conocen mediante teledetección (Kangas *et al.*, 2018).

APORTES AL USO DE LIDAR EN PLANTACIONES DE EUCALIPTOS EN URUGUAY

La tecnología LiDAR permite determinar la distancia desde un emisor a un objeto o superficie utilizando un haz láser. Esta distancia se determina midiendo el tiempo de retraso entre la emisión y su detección a través de la señal reflejada. En el sistema LiDAR aerotransportado (Airborne Laser Scanning, ALS) el sensor láser es instalado en una plataforma móvil (avión, helicóptero o dron). En el bosque, el pulso láser choca con la copa de los árboles, y parte de él se refleja y vuelve al sensor, otra parte va atravesando la vegetación hasta llegar al suelo, lo que da lugar a varios retornos que vuelven al emisor (Figura 1). Basado en este principio, el resultado de un vuelo LiDAR es una red irregular de puntos con tres coordenadas (x - y - z) que describe la forma de la superficie en un momento determinado.

Junto con las coordenadas se registra también la intensidad de cada uno de los retornos, la cual representa la cantidad de energía reflejada y otros atributos relativos al pulso emitido como el ángulo de escaneo, la distancia sensor-objeto y el número de retorno correspondiente. Teniendo como base la distribución de elevaciones e intensidades de los retornos, es posible derivar variables relacionadas con la altura de los árboles, la estructura de las copas, la distribución de los elementos del dosel en el espacio, la densidad o la distribución de biomasa, entre otras, denominadas “métricas” (Cuadro 1). Dichas métricas se usan como variables explicativas para modelar variables de interés para el manejo forestal como volumen de los fustes, altura media dominante, etc.

Los datos ALS proporcionan información horizontal y vertical de los atributos del rodal, con una alta resolución espacial y una elevada precisión (Figura 2). Algunos de estos atributos se obtienen de manera directa, como por ejemplo la altura de la vegetación, otros de manera indirecta mediante la construcción y calibración de modelos estadísticos o relaciones empíricas, entre otros atributos.

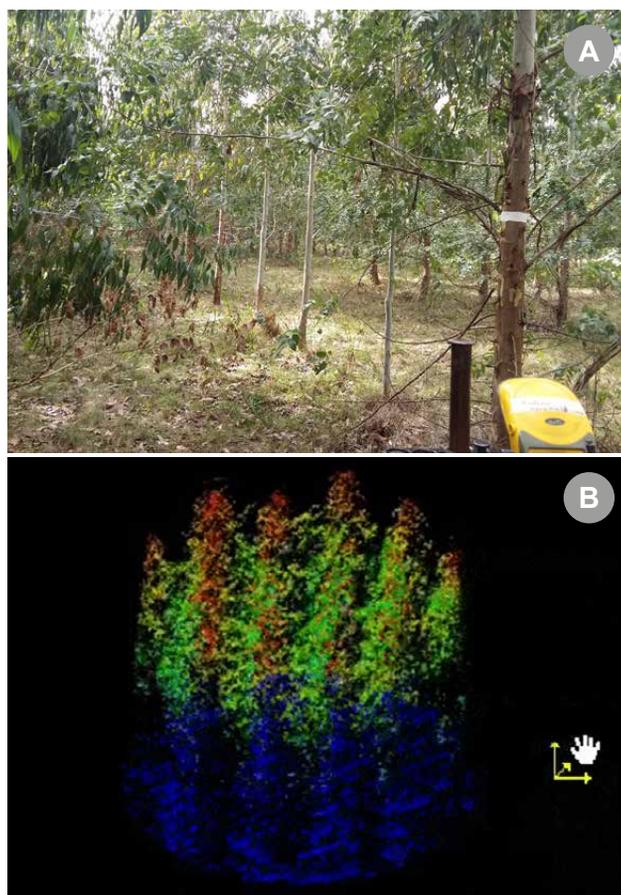


Figura 2 - Parcela de calibración (A) y su traducción en datos LiDAR (B).

Cuadro 1 - Resumen del extracto de métricas de ALS por el software FUSION.

		Métricas ALS	Descripción
Métricas de altura	Métricas que expresan la tendencia central en las distribuciones de alturas de ALS	h_{media}	Media
		h_{moda}	Moda
	Métricas que expresan la dispersión de la distribución de altura de ALS	h_{sd}	Desvío estándar
		h_{var}	Varianza
		h_{AAD}	Desviación absoluta
		h_{QJ}	Rango Intecuartil
		h_{CV}	Coficiente de variación
		$h_{min}, h_{máx}$	Mínimo y máximo
	Métricas que expresan la forma de la distribución de altura de ALS	h_{SK}	Simetría
		h_{Kur}	Kurtosis
		CRR	Relación de Dosel
	Percentiles de la distribución de altura de ALS	$h_{10}, h_{20}, \dots, h_n$	Percentiles
	Métricas de cobertura del dosel	Para un umbral de altura fijo (2 m)	CC
PARA2			Porcentaje de todos los retornos por encima de 2,00/total de todos los retornos
ARA2/TFR			Relación entre todos los rendimientos superiores a 2,00 y el total de los primeros rendimientos
Para un umbral de altura variable		PFRAM	Porcentaje de los primeros retornos por encima de la media/total de todos los retornos
		PARAM	Porcentaje de todos los retornos por encima de la media/total de todos los retornos
		PARAMO	Porcentaje de todos los retornos por encima de la moda/total de todos los retornos
		PFRAMO	Porcentaje de los primeros retornos por encima de la moda/total de todos los retornos
		ARAM/TFR	Relación entre todos los retornos por encima de la media y el total de los primeros retornos
		ARAMO/TFR	Relación entre todos los retornos por encima de la moda y el total de los primeros retornos

A través de una beca INIA para el desarrollo de un estudio de doctorado en Facultad de Agronomía (Udelar), con el apoyo de la Universidad de Córdoba (España) y UPM-Forestal Oriental, se buscó profundizar en el conocimiento sobre el uso de datos LiDAR y multiespectrales en rodales de *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus dunnii* (Hirigoyen, 2021). Esta información se utilizó en la construcción y validación de modelos predictivos para el índice de área foliar, la biomasa área total (BMT), el volumen total (VT) y la altura media dominante (Ho) a nivel de rodal. Los métodos de estimación de Ho, VT y BMT que utilizan métricas LiDAR pueden ser métodos paramétricos y no paramétricos.

Como se observa en el Cuadro 1, la selección de métricas LiDAR, para integrar los modelos de estimación, por

ejemplo la Ho se relaciona con los percentiles más altos de la nube de puntos (Percentiles 90 y 99).

En este estudio se encontró que los percentiles medio o medio-alto de la nube de puntos (Percentiles 70 y 75) fueron mejores predictores del volumen y biomasa (Hirigoyen, 2021).

El estudio se centró en la construcción y validación de modelos predictivos para el índice de área foliar, la biomasa área total, el volumen total y la altura media dominante a nivel de rodal.



Figura 3 - Raster de segmentación para altura media dominante, biomasa total y volumen total (Área relevada: 1317 ha en pixeles de 0,03 ha).

Estos percentiles medios-altos de la nube de puntos informan sobre las propiedades de la copa de los árboles (Matasci *et al.*, 2018) y se han utilizado para explicar otras variables del árbol (por ejemplo, el diámetro del fuste). Los modelos no paramétricos, incluyeron una variable relacionada con las métricas de altura y la forma de la distribución de altura y métricas de cobertura. Según estudios previos, la combinación de la altura y la densidad en las métricas del dosel representan una descripción de la estructura vertical de la masa forestal (Jayathunga *et al.*, 2019). Los resultados demuestran que el Percentil 75 es potencialmente útil para mejorar los modelos forestales. Acceda al estudio completo:

Acceda **AQUÍ**



Los mapas de existencias, en volumen y en biomasa, fueron segmentados en rodales más pequeños y homogéneos. Esta segmentación automática de masas de eucalipto, produce rodales que un experto podría identificar de manera similar con fotografía tradicional. La rodalización obtenida brinda herramientas que permiten mejorar la precisión en dos pasos fundamentales en la cuantificación del stock forestal: el modelado de las variables del rodal (biomasa aérea, volumen total y altura dominante) utilizando LiDAR, y la delimitación de la estructura del rodal basada en una evaluación no supervisada (Figura 3). Esta información es de gran utilidad en la optimización de los manejos de los rodales y su planificación.

CONSIDERACIONES FINALES

El uso de datos procedentes de sensores remotos permite modelar procesos que ocurren en grandes áreas, la integración con la información de inventarios de campo y su alta correlación con la estructura de la vegetación, permite ajustar modelos precisos para la estimación de la producción forestal. Así como, procesos automáticos de segmentación y optimización que mejoran la planificación y la gestión de los recursos forestales colaborando así con los sistemas de toma de decisiones (Hirigoyen, 2021). La aplicación de tecnologías de teledetección en el sector forestal requiere

cambios en las prácticas de inventarios (planificación, ejecución y resolución), así como la capacidad de producir y manejar modelos predictivos de variables dasométricas y algoritmos de rodalización. La tesis presentada en este artículo buscó contribuir a la mejora en el uso de la teledetección (LiDAR) en las plantaciones uruguayas, seleccionando variables de mejor performance para la estimación de las principales variables de rodal, así como brindar un marco teórico práctico para nuevas metodologías de rodalización. Dicha información es de interés para empresas de servicios, en la mejora de sus procesos y se orienta a brindar más y mejor información para una planificación más eficiente de los recursos forestales nacionales.

REFERENCIAS

- Chuvieco Salinero, E. (1990). Fundamentos de teledetección espacial. No. 528.8 CHU.
- García, D. (2010). Estimación de variables de interés forestal basada en datos lidar en el monte número 117 del c.u.p. Término municipal de cuenca. Universidad politécnica de Madrid.
- Hirigoyen, A. (2021). Aplicación de imágenes de satélites y datos LiDAR en la modelización e inventario de *Eucalyptus* spp en Uruguay. Tesis de doctorado. Montevideo. Udelar. Facultad de Agronomía.
- Jayathunga, S., Owari, T., & Tsuyuki, S. (2019). Digital Aerial Photogrammetry for Uneven-Aged Forest Management: Assessing the Potential to Reconstruct Canopy Structure and Estimate Living Biomass. *Remote Sensing*, 11(3), 338. <https://doi.org/10.3390/rs11030338>
- Kangas, A., Astrup, R., Breidenbach, J., Fridman, J., Gobakken, T., Korhonen, K. T., Maltamo, M., Nilsson, M., Nord-Larsen, T., Næsset, E., & Olsson, H. (2018). Remote sensing and forest inventories in Nordic countries—roadmap for the future. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 33(4), 397–412. <https://doi.org/10.1080/02827581.2017.1416666>
- Matasci, G., Hermosilla, T., Wulder, M. A., White, J. C., Coops, N. C., Hobart, G. W., Bolton, D. K., Tompalski, P., & Bater, C. W. (2018). Three decades of forest structural dynamics over Canada's forested ecosystems using Landsat time-series and lidar plots. *Remote Sensing of Environment*, 216(May), 697–714. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.07.024>
- Stereńczak, K., Lisańczuk, M., & Erfanfard, Y. (2018). Delineation of homogeneous forest patches using combination of field measurements and LiDAR point clouds as a reliable reference for evaluation of low resolution global satellite data. *Forest Ecosystems*, 5(1), 1–12. <https://doi.org/10.1186/s40663-017-0128-5>