

Idoneidad y manejo de los datos de un escáner láser (LIDAR) para la caracterización de determinados parámetros vegetativos de interés en frutales y viña

Ricardo Sanz, Jordi Llorens, Jaume Arnó, Josep M. Vallès, Àlex Escolà¹, Pere Massana, Ferran Camp, Emilio Gil², Jordi Palacín, Joan Masip, Manel Ribes-Dasi, Francesc Solanelles¹ y Joan Ramon Rosell

Departamento de Ingeniería Agroforestal. Universidad de Lleida. Rovira Roure, 191. 25198. LLEIDA. Tel. 973 702 539. Fax: 973 238 264. E-mail: rsanz@eagrof.udl.es

¹*Centro de Mecanización Agraria. Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca. Generalitat de Catalunya. Rovira Roure, 191. 25198. LLEIDA*

²*Departamento de Ingeniería Agroalimentaria i Biotecnología. Universidad Politécnica de Catalunya. Avinguda del Canal Olímpic, s/n. 08860. CASTELLDEFELS (Barcelona)*

Resumen

Se muestran los resultados obtenidos de la utilización de un sensor láser (LIDAR-Light Detection and Ranging) para la medida de ciertos parámetros estructurales en frutales y viña. A partir de los datos del sensor y mediante la aplicación de la metodología desarrollada por Walklate *et al.*, se han obtenido determinados índices de cultivo para su posterior comparación con el Índice de Área Foliar (LAI). En este sentido, y para las dos variedades de peral analizadas, el índice TAI (Tree Area Index) ha sido el parámetro que ha mostrado mejor correlación con el LAI obtenido experimentalmente.

Palabras clave: LIDAR, sensores, parámetros de cultivo, agricultura de precisión

Abstract

In this work, LIDAR (Light Detection and Ranging) sensor for measuring structural crop parameters has been used. Data acquisition is carried out with a SICK LMS 200 scanner on orchards and vineyards. Applying Walklate's methodology, Crop Area Quotient (CAQ), Tree Area index (TAI) and Tree Area Density (TAD) parameters have been built to compare to Leaf Area Index (LAI). In this sense, TAI parameter has showed the better correlation when obtained data on pear orchards are analysed.

Key words: LIDAR, sensors, crop parameters, precision agriculture

1. Introducción

Los sensores LIDAR (Light Detection and Ranging) se basan en la medida del tiempo que tarda un pulso de luz desde que es emitido hasta que impacta con el objetivo y, tras reflejarse, llega de nuevo al sensor. En este estudio se ha utilizado un escáner LIDAR terrestre para la obtención de modelos (imágenes) tridimensionales (3D) de los árboles y, de este modo, poder evaluar sus principales parámetros geométricos (altura, volumen, etc.) y estructurales (LAI, densidad de área foliar, etc.). Con esta información se pretende, en una segunda fase de investigación, poder llegar a optimizar las dosis y los volúmenes empleados en los tratamientos fitosanitarios de estos cultivos [1-3].

2. Material y métodos

2.1. Ensayos previos de laboratorio

El LIDAR utilizado ha sido un escáner láser SICK LMS 200 de uso general y bajo coste, con un ángulo de barrido máximo de 180° y una resolución angular seleccionable entre 0,25°, 0,5° y 1°. La precisión de las mediciones de distancia es de ± 1 cm. Previamente a su utilización en campo, se llevaron a cabo distintas pruebas de laboratorio, con objeto de calibrar adecuadamente el sensor. Primero (figura 1), se caracterizó el rayo láser visualizándolo con una cámara de video digital sensible al infrarrojo cercano y, posteriormente, se trabajó con un árbol ornamental para la puesta a punto y comprobación del correcto funcionamiento del sistema [3]. Tanto en laboratorio como en las pruebas de campo, el sensor se conectaba a un ordenador portátil a través de un puerto serie RS-232 y se utilizó el software MATLAB 6.5 como plataforma de adquisición y procesamiento de los datos.

2.2. Pruebas de campo

Se han realizado diferentes pruebas en frutales (peral y manzano) y en viña (fig. 1). Para ello, se diseñó un equipo que fuera fácilmente transportable y que nos facilitara el uso del LIDAR en diferentes plantaciones.



Figura 1. A) Imagen del impacto del rayo láser. B) Equipo para la toma de datos en campo: frutales (izquierda) y viña (derecha)

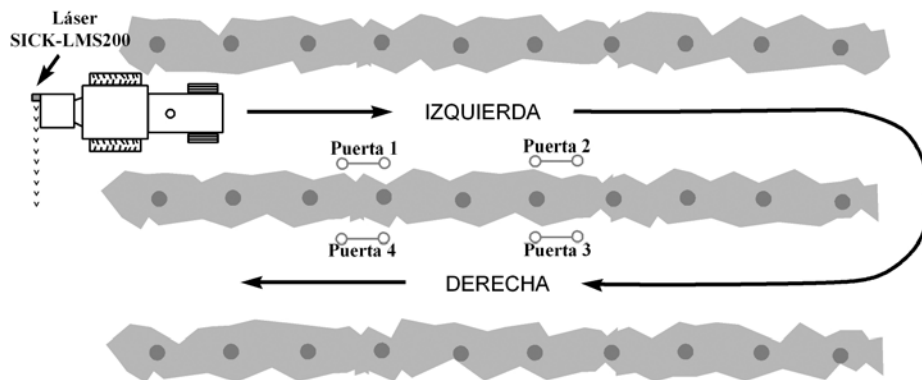


Figura 2. Sistemática de toma de datos con el sensor LIDAR

En cada prueba se realizaron varias pasadas (lecturas) con el sensor (fig. 2), por ambas caras de la fila, antes y después de desfoliar los árboles de la zona de estudio. De este modo, se pudieron comparar las lecturas del sensor en los dos casos (árboles con hojas y árboles desnudos) y, tras superficiar las hojas en laboratorio, poder evaluar la utilidad de los datos obtenidos con el LIDAR a la hora de estimar determinados parámetros vegetativos como el volumen del árbol, el LAI (Leaf Area Index) o la densidad foliar.

2.3. Análisis y manejo de datos

Siguiendo la metodología establecida por Walklate *et al.* [1], el volumen de vegetación escaneado por el LIDAR (fig. 3) se reducía finalmente a una malla bidimensional de celdas polares (k, j), cuyas coordenadas eran el ángulo θ_k y el radio (distancia al sensor) r_j (fig. 3 y 4). De este modo, y mediante la utilización del programa informático MATLAB 6.5, fue relativamente sencillo para cada celda establecer el número de intercepciones, $\Delta n_{k,j}$, que sufría el rayo láser debido a la presencia de material vegetal en su trayectoria. El cálculo de esta cantidad se realizó mediante la expresión, $\Delta n_{k,j} = n_{k,j} - n_{k,j+1}$, en la cual, $n_{k,j}$ era el número de rayos láser en la cara de entrada de la celda (k, j) y $n_{k,j+1}$, el número de rayos que conseguían atravesar la cara de salida de dicha celda. Ciertamente, a mayor número de intercepciones, mayor había de ser la vegetación detectada.

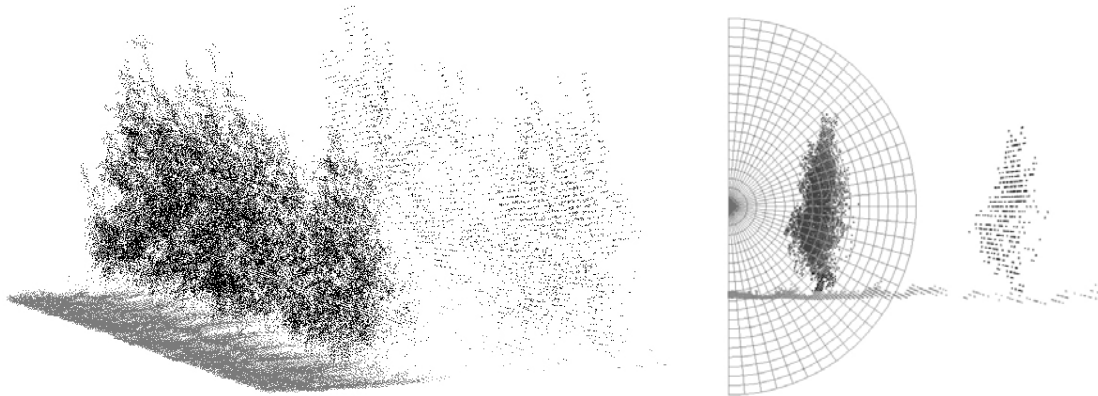


Figura 3. A) Imagen 3-D en peral de los puntos interceptados por el sensor láser. B) Proyección en una malla bidimensional

Con todo, y para realizar el cálculo anterior, hubo que establecer previamente el número inicial de rayos que llegaban a las primeras celdas (las más próximas al LIDAR) como el producto entre el número de escáners (N) realizados a lo largo de la fila muestreada y la resolución angular adoptada. Igualmente, la longitud de vegetación efectivamente muestreada se obtenía como el producto $N \Delta z$, siendo Δz la distancia entre escáners consecutivos.

Por otro lado [1], se consideró que la probabilidad de transmisión de la luz en una celda genérica (k, j) podía establecerse como el cociente entre $n_{k,j+1}$ (cantidad a la salida) y $n_{k,j}$ (cantidad a la entrada) y, por otro, que dicha probabilidad, $T_{k,j}$, podía aproximarse mediante la ley de Beer ($T_{k,j} = \exp(-\Delta r \cdot a_{k,j})$). De este modo, se establecía finalmente para cada celda un valor del parámetro $a_{k,j}$, denominado *densidad de área del cultivo*, el cual venía a representar la densidad de material vegetal (m^2/m^3) que había detectado el sensor. Efectivamente, este valor $a_{k,j}$ no es ninguna área foliar, sino que se define más bien como un vector de densidad acumulada de área del cultivo en la dirección Δr (fig. 4), teniendo en cuenta el número total de rayos correspondientes a la celda en cuestión (k, j). El valor de la *densidad de área del cultivo* correspondiente a la celda (k, j) se obtenía finalmente a partir de los datos del LIDAR según:

$$a_{k,j} = -\frac{1}{\Delta r} \ln \left(1 - \frac{\Delta n_{k,j}}{n_{k,j}} \right) \quad (1)$$

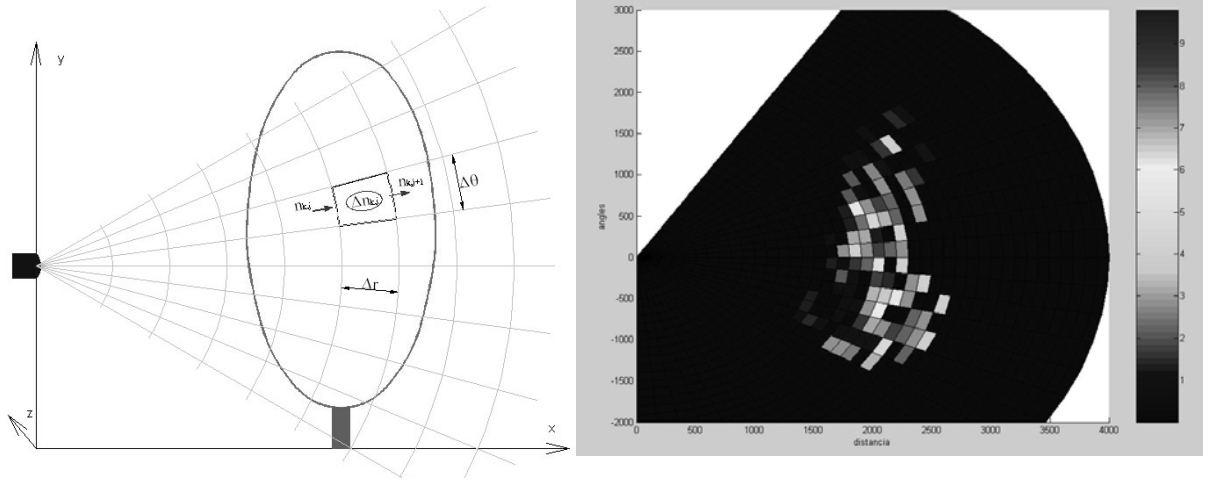


Figura 4. A) Representación esquemática de una celda bidimensional a la cual se reduce el volumen escaneado $r_j \Delta \theta \Delta r N \Delta z$. B) Representación en 2-D de los valores de $a_{k,j}$

Con estos valores de densidad (fig. 4), se obtuvieron tres índices para la caracterización de la vegetación [1]: el Crop Area Quotient (CAQ), [L^0], el Tree Area Index (TAI), [L^0], y el Tree Area Density (TAD), [L^{-1}].

El CAQ para una celda (k, j) se definió como el producto $\Delta r a_{k,j}$, siendo el valor total,

$$CAQ = \Delta r \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^{J_K} a_{k,j} = -\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^{J_K} \ln \left(1 - \frac{\Delta n_{k,j}}{n_{k,j}} \right) \quad (2)$$

El TAI se obtuvo sumando el área “captada” por el LIDAR en cada celda y dividiendo por el área total del terreno. El área vista por el LIDAR en la celda (k, j) es $\Delta r N \Delta z r_j \Delta \theta \delta_{k,j} a_{k,j}$, en la que $\delta_{k,j} = 1$ si $\frac{\Delta n_{k,j}}{n_{k,j}} \geq p$ y $\delta_{k,j} = 0$ si $\frac{\Delta n_{k,j}}{n_{k,j}} < p$,

tomándose como valor $p = 0,01$. Aunque la expresión anterior tenga dimensiones de superficie, no se trata de la superficie real de hoja, sino de la superficie captada por el LIDAR. Siendo el área del terreno igual a $W N \Delta z$ (donde W es la distancia entre filas de árboles), la expresión final del Tree Area Index se obtuvo como,

$$TAI = -\frac{\Delta \theta}{W} \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^{J_K} r_j \delta_{k,j} \ln \left(1 - \frac{\Delta n_{k,j}}{n_{k,j}} \right) \quad (3)$$

Finalmente, el TAD se calculó mediante la expresión,

$$TAD = \frac{W \cdot TAI}{A} = \frac{- \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^{J_k} r_j \delta_{k,j} \ln \left(1 - \frac{\Delta n_{k,j}}{n_{k,j}} \right)}{\Delta r \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^{J_k} r_j \delta_{k,j}} \quad (4)$$

3. Resultados y discusión

En la tabla 1 se muestran los valores de los índices calculados a partir del LIDAR y los correspondientes valores del LAI experimental, en las pruebas realizadas en peral (*Blanquilla y Conference*).

Tabla 1. Índice de área foliar (LAI) y parámetros vegetativos obtenidos con los datos del LIDAR

	<i>cv. Blanquilla</i>						<i>cv. Conference</i>						
	CAQ ¹	CAQ ²	TAI ¹	TAI ²	TAD ¹	TAD ²	CAQ ¹	CAQ ²	TAI ¹	TAI ²	TAD ¹	TAD ²	
LAI=2,96	163,52	170,08	1,41	1,37	2,58	2,57	LAI=2,16	125,64	124,67	1,17	1,16	2,92	3,13
	163,63	170,71	1,40	1,38	2,57	2,44		-	128,83	-	1,20	-	3,25
LAI=3,08	189,90	157,25	1,54	1,55	2,66	2,55	LAI=2,29	161,73	192,38	1,55	1,76	2,86	3,17
	-	163,16	-	1,56	-	2,52		166,69	186,44	1,56	1,67	2,91	2,99
	-	-	-	-	-	-		165,34	177,33	1,58	1,63	2,85	3,00

¹Lectura con el LIDAR por una cara de la fila.

²Lectura con el LIDAR por la otra cara de la misma fila. TAD, (m⁻¹).

De los tres índices calculados, únicamente el Tree Area Index (TAI) mostró una correlación satisfactoria con los valores del LAI experimental (fig. 5). Aún así, se hace necesario un mayor número de pruebas de campo para la confirmación de este hecho.

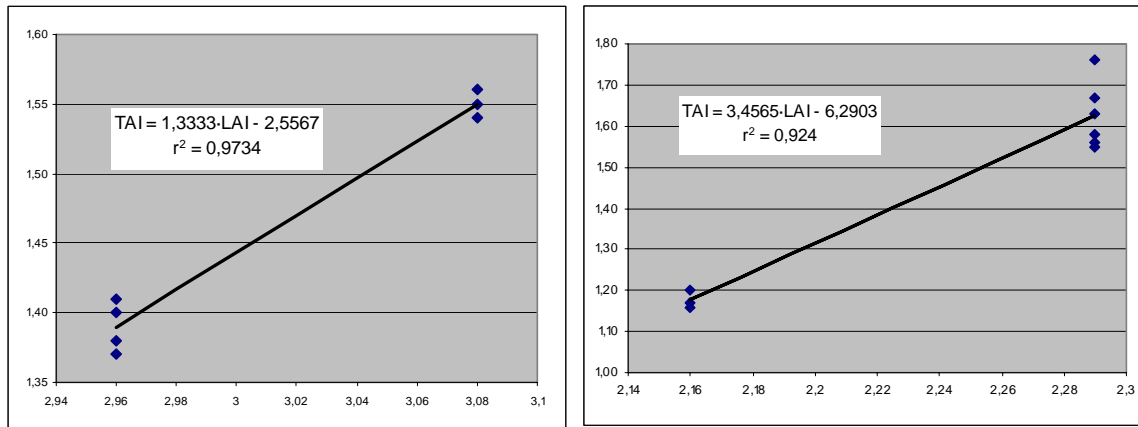


Figura 5. Relación Tree Area Index (TAI) – Leaf Area Index (LAI) para a) peral *cv. Blanquilla*, b) peral *cv. Conference*

Por otro lado, se planteó paralelamente una metodología para el cálculo aproximado del volumen del árbol a partir de los datos suministrados por el sensor.

Utilizando la información obtenida por ambas caras de la zona a estudiar obtenemos el volumen de la nube de puntos generada por el sensor Lidar. Este volumen lo relacionamos con la superficie foliar obtenida por defoliación manual de los árboles. Esta defoliación no es global si no que se hace en diferentes sectores de dimensiones conocidas. En la siguiente figura (Fig. 6b), tenemos relacionados la superficie foliar de cada sector con el volumen Lidar calculado. La información que aparece corresponde a los sectores de siete manzanos defoliados de edades diferentes y en estadios vegetativos

diferentes. A pesar de la heterogeneidad de los árboles obtenemos una buena correlación entre volumen Lidar i superficie foliar ($R^2=0.814$).

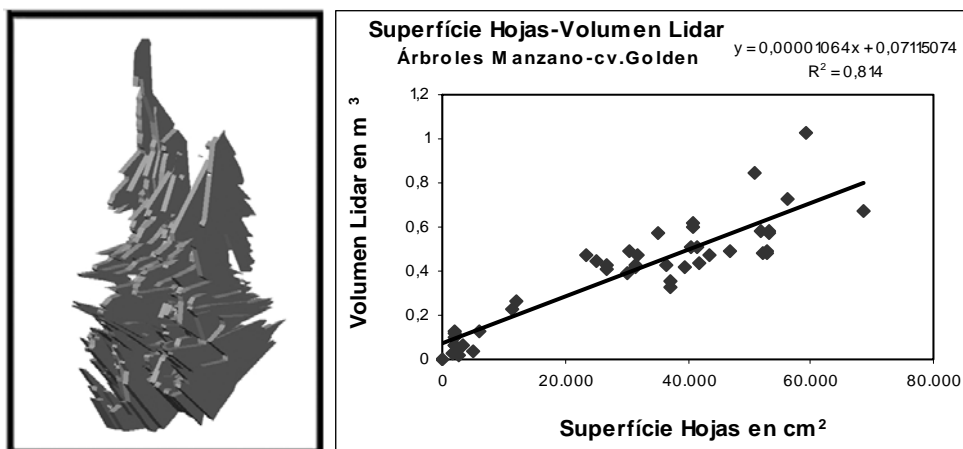


Figura 6. a) Volumen obtenido de la nube de puntos generada por el sensor Lidar, b) Correlación entre Volumen Lidar y Superficie Foliar

4. Conclusiones

- ♦ El Tree Area Index (TAI) ha sido el índice que ha mostrado una mejor correlación (coeficiente de correlación de 0,987 en *Blanquilla* y 0,964 en *Conference*) con el Índice de Área Foliar (LAI). Con todo, el número de datos obtenidos hasta el momento aconseja la prudencia en esta aseveración.
- ♦ El TAI no mide exactamente el Índice de Área Foliar (LAI), ya que la vegetación que capta el LIDAR no es exactamente la superficie foliar del árbol.
- ♦ Los estudios previos que se están realizando apuntan a que el Volumen Lidar está altamente correlacionado con la Superficie Foliar.
- ♦ La información suministrada por el LIDAR puede ser muy útil para la modelización de los diferentes estadios del ciclo vegetativo en cultivos arbóreos. El mejor conocimiento de estas fases debe permitir la optimización de las dosis y los volúmenes aplicados en los tratamientos fitosanitarios en estos cultivos.

5. Referencias bibliográficas

- Walklate, P.J.; Cross, J.V.; Richardson, G.M.; Murray, R.A.; Baker, D.E. 2002. *Comparison of different spray volume deposition models using LIDAR measurements of apple orchards*. Biosystems Engineering, 82 (3), 253-267.
- Wei, J.; Salyani, M. 2004. Development of a laser scanner for measuring tree canopy characteristics: Phase I. Prototype development. Transactions of the ASAE, 47(6):2101-2107.
- Sanz, R. ; Palacín, J. ; Sisó, J.M. ; Ribes, M. ; Masip, J. ; Arnó, J. ; Llorens, J. ; Vallés, J.M. ; Rosell, J.R. 2004. *Advances in the measurement of structural characteristics of plants with a LIDAR scanner*. Leuven (Belgium), Book of Abstracts of the AgEng 2004 Conference, pp: 400-401.

6. Agradecimientos

Estos primeros resultados han sido posibles gracias a la financiación del proyecto de investigación PULVEXACT (AGL2002-04260-C04-02) por parte de la CICYT.