



II SIMPOSIO NACIONAL DE INGENIERÍA HORTÍCOLA



CERTIFICADO DE COMUNICACIÓN

Se certifica que la comunicación “Desarrollo de aplicación para la estimación del volumen de estructuras arbóreas con LIDAR terrestre” firmada por J. Martínez, J. Agüera, D. Sarri, R. Lisci, M. Vieri y M. Pérez-Ruiz ha sido presentada en el II Symposium Nacional de Ingeniería Hortícola “Automatización y TICs en la Agricultura”, celebrado en la Universidad de Almería del 10 al 12 de febrero de 2016 y recogida dentro del Acta de Horticultura de la SECH número 72, en el libro de resúmenes (ISBN 978-84-16642-12-0).

C.I.F.: G-04036828

Secretaría Técnica del Symposium
Almería, 10 de febrero de 2016



Fdo.: José Carlos Moreno Úbeda

Organizan:



[T]/[F] (+34) 957 218 501
Campus Universitario de Rabanales
Edif. Celestino Mutis
Ctra. Madrid-Cádiz / km 396
14014 Córdoba
[e-mail]: sech@sech.info
www.sech.info

Desarrollo de aplicación para la estimación del volumen de estructuras arbóreas con LIDAR terrestre

J. Martínez¹, J. Agüera², D. Sarri³, R. Lisci³, M. Vieri³ y M. Pérez-Ruiz¹

¹ Universidad de Sevilla. Área de Ingeniería Agroforestal Dpto. de Ingeniería Aeroespacial y Mecánica de Fluidos. Ctra. Utrera, km 1, 41013, Sevilla. E-mail: martinezj@us.es

² Universidad de Córdoba, Dpto. Ingeniería Rural. Campus Rabanales. Córdoba, Spain.

³ University of Florence, Dept. of Agricultural, Food Production and Forest Management. Piazzale delle Cascine 15, Florence, Italy

Resumen

En los últimos años, el uso de sensores remotos como los escáneres LIDAR (Light Detection And Ranging) en la agricultura de precisión ha ido ganando aceptación. La aplicación de estos escáneres terrestres a las técnicas de la agricultura de precisión, permite mapear y caracterizar un cultivo e identificar las posibles variaciones que éste pueda presentar en una misma parcela. Además, representan una oportunidad para que una vez conocidas y cuantificadas dichas variaciones en algunos parámetros, se pueda elaborar un mapa de prescripción a partir del cual efectuar alguna de las tareas culturales ajustadas a las necesidades reales del cultivo, siendo capaces por ejemplo, de variar la dosis de aplicación de fitosanitarios en función del volumen de cada uno de los árboles. Este trabajo se centra en el desarrollo y evaluación de un programa capaz de procesar los datos generados por un escáner laser 2D y receptor GNSS que estima el volumen de la estructura arbórea. Este volumen ha sido comparado con medidas de volumen obtenidas de forma manual arrojando un alto grado de concordancia entre estas medidas digitales y los árboles reales.

Palabras clave: escáner laser, GNSS, mapa de prescripción, agricultura de precisión

Development of software application for estimating the volume of tree structures using terrestrial LIDAR

Abstract

In recent years, the use of remote sensing technologies as LIDAR (Light Detection and Ranging) scanners in precision farming has gained increasing acceptance. The application of terrestrial scanners to precision farming techniques allows mapping and characterizing a tree crop, and identifying spatial variations in a plot. They also represent an opportunity for once known and quantified such variations in some parameters, obtain a prescription map from which perform some agricultural tasks meeting the real needs of the crops (i.e. being able to vary the application dose of agrochemicals depending on the volume of each tree). This work focuses on the development and first evaluation of a developed software capable of manage and processing data generated by a laser scanner and GNSS receiver to estimate the volume of the tree structure. This calculated volume has been compared with volume measurements obtained manually, resulting a good degree of concordance between this digital measures and real tree dimensions.

Keywords: laser scanner, GNSS, prescription map, precision farming

1. Introducción y/o Justificación

Los cultivos frutales perennes representan un 1% del total de tierra cultivada en el mundo. Si nos centramos en el área Mediterránea podemos alcanzar un 11%, hectáreas que son de un gran valor tanto desde el punto de vista del comercio mundial como desde la economía (FAO 2011). En general, el árbol frutal presenta una vegetación con estructura compleja que dependerá fundamentalmente del manejo agrícola que se haga de la misma (ej. poda). El manejo de la vegetación en árboles dependerá del patrón de crecimiento, número de plantas/ha y las técnicas de poda, ya que todo ello afecta a la cantidad de luz interceptada por los árboles y sus frutos. Goswami et al., 2014 indicó que la productividad depende de muchos factores, pero que el más influyente es el manejo de la vegetación.

El gran avance producido en los sensores remotos ha permitido que muchos grupos estén abordando la monitorización de cultivos con diferentes propósitos, conocer el estado nutricional del cultivo (Quebrajo et al., 2015), detección de mala hierba/cultivo (Slaughter et al.), estrés hídrico (Testi et al., 2008), etc. Además, montados en diferentes tipo de plataformas.

Dentro de la gama de sensores que se están utilizando en la agricultura de precisión para diferentes aplicaciones, el sensor LIDAR (Light Detection And Ranging) o escáner laser ofrece multitud de posibilidades. Su potencial viene determinado por su gran alcance, precisión y robustez para medir en las condiciones en las que se dan los trabajos agrícolas (ej. polvo, niebla).

Fundamentalmente existen dos tipos de tecnología para conseguir una aplicación variable: aplicación basada en mapa; y aplicación basada en sensor, que ajustaría la dosis de un pulverizador en tiempo real. Este segundo tipo es el más prometedor en viveros y tratamientos agroquímicos en árboles, porque pueden ajustar la aplicación en base al crecimiento de estos cultivos (Chen, 2012).

Tanto a nivel de investigación, y por su puesto comercial, hoy en día existe una temática muy importante que no se ha resuelto de forma completa, aunque existen muy buenas aproximaciones: los mapas de prescripción. Estos mapas pueden indicar el volumen (ej. litros), cantidad o dosis (ej. kg/ha de N) de input que un equipo de aplicación de forma precisa debería de poner sobre el cultivo o suelo (ej. sistema de riego de precisión, pulverizador hidroneumático). A día de hoy, la obtención de un buen mapa de prescripción para introducir en una máquina y realizar un trabajo de precisión es un reto importante sobre todo para cultivos arbóreos. La estimación de un volumen del árbol puede permitir optimizar la dosis de aplicación de acuerdo a la vegetación que presenta.

Los escáneres en dos dimensiones deben ser movidos en una dirección perpendicular al plano de exploración para obtener la tercera dimensión. Si el sensor va montado sobre un tractor agrícola u otro vehículo moviéndose entre árboles las exploraciones pueden interpretar la silueta de los árboles pudiéndose estimar su volumen (Palleja et al., 2010). Los sistemas de dos dimensiones tienen una menor precisión, y puede ser más dificultoso el movimiento del escáner laser en la recogida de los datos (Gil et al., 2014).

El objetivo de este trabajo ha sido el desarrollo y puesta en marcha de una aplicación para la estimación del volumen de vegetación en olivos que combina información de LIDAR y de receptor GNSS de alta precisión.

2. Material y Métodos

2.1. Parcela experimental

Los ensayos tuvieron lugar durante el mes de Noviembre de 2015 en una parcela experimental de olivos (*var. Leccino*) situada próxima a Cerbaia, en la región italiana de la Toscana ($43^{\circ}68'N$; $11^{\circ}14'E$). Es una parcela situada a una altitud de unos 250 metros sobre el nivel del mar, con una superficie de 200 ha aproximadamente, un marco de plantación de los olivos de 6.5 m x 5 m y orientación de las líneas norte-sur, es utilizada por la Universidad de Florencia para ensayos experimentales en distintas épocas del año, así como para su posterior explotación y elaboración de aceite (Figura 1a y 1b). La zona de la parcela donde se realizaron los ensayos posee una significativa pendiente, que en algunos tramos llegaba a ser del 14%, mientras que las características de la región hacen que el suelo sea moderadamente profundo, de textura franco-arcillosa, ligeramente alcalino y con buen drenaje.



Figura 1. a) Localización de la parcela del ensayo y b) foto de plantación típica de la zona

2.2. Caracterización manual del volumen de copa

2.2.1 Método de la curva de contorno

Un árbol crece normalmente en una forma ideal sometido a la ley de la simetría, con sus cortes transversales en forma de círculo cuyo centro lo constituye la médula, la cual puede considerarse como el eje de simetría y de equilibrio. Un corte longitudinal del tronco que pase por el eje de simetría revela en sus lados exteriores una curva de contorno, a cuya rotación alrededor del eje de simetría se debe la forma y volumen. Entonces, suponiendo que las secciones transversales son de forma circular se considerará el árbol, como un cuerpo en rotación.

En este método utilizamos la curva de contorno determinada manualmente en cada una de las fotos tomadas en campo a 0° , 18° , 36° , 54° , 72° ..hasta 360° , previo ajuste de la escala de la foto utilizando el jalón como referencia a través del programa Image J (Rasband, 2015). Conocida la curva de contorno podemos conocer el área. Obtenida el área objetivo y el centroide del polígono encerrado, se aplica el segundo teorema de Pappus-Guldinus para estimar el volumen de revolución de este polígono tomando como referencia la posición del tronco del olivo.

2.3 Caracterización electrónica del volumen copa

2.3.1 Escáner laser y receptor GNSS

El sistema de adquisición de datos empleado en los ensayos de campo ha estado constituido por un sensor LIDAR (Light Detection And Ranging) de doble pulso (modelo SICK LMS111) y un receptor RTX-GNSS (modelo Trimble BX982), ambos montados a bordo de un ATV en su parte delantera (Figura 2a), a fin de poder georreferenciar de forma precisa cada uno de los barridos realizados por el escáner óptico. El principio básico de funcionamiento del sensor LIDAR utilizado consiste en la proyección, a modo de barrido, de una señal óptica sobre un determinado objeto, y el correspondiente procesamiento de la señal reflejada para determinar la distancia a la que se encuentra; la precisión en las medidas de distancia depende de la intensidad de esta señal óptica reflejada. Por cada señal reflejada se obtiene un ángulo (α), la distancia (ρ) y la intensidad. A partir de estos datos se puede definir la posición de cada uno de los puntos en un sistema de coordenadas polares, que se transforman a un sistema cartesiano ($x = \rho \cos\alpha$; $y = \rho \sin\alpha$), y de esta forma obtener una nube de puntos que representa el objeto escaneado.

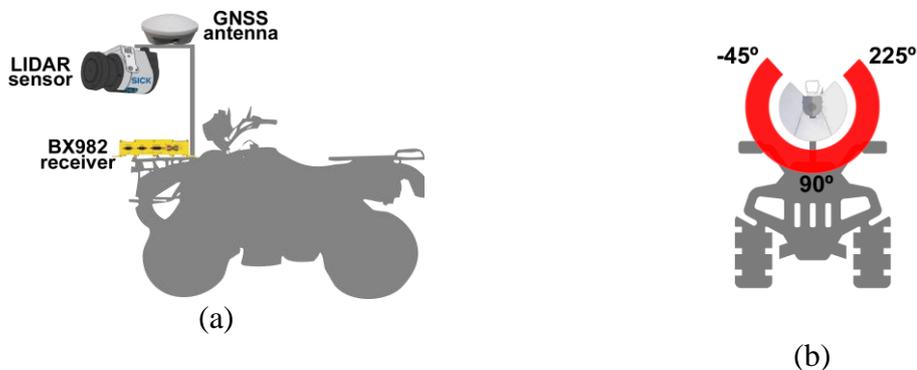


Figura 2. a) Esquema de elementos para la toma de datos montados en el ATV y b) vista frontal del sensor LIDAR y ángulos de un barrido completo de escaneo.

2.4 Ensayos de campo

En primer lugar se seleccionó un olivo típico de la zona, dentro de la línea del marco de plantación, y se realizaron 4 pasadas con el ATV, Norte, Sur, Este y Oeste (Figura 2). Estas pasadas fueron realizadas siguiendo una trayectoria rectilínea a una velocidad constante de 1.5 km h^{-1} y a una distancia del eje del árbol de 3.8 m. El intervalo de medición angular del LIDAR estaba comprendido entre -45° y 90° con una resolución angular de 0.5° . La utilización de los datos del escáner de las pasadas de los lados opuestos dos a dos permite estimar el volumen del olivo completo mediante el programa desarrollado para ello en este trabajo.

Para este mismo olivo, tal y como se ha explicado en el apartado 2.2.1, se ha estimado su volumen con en el método de las curvas de contorno.

Una vez comprobada la robustez y los buenos resultados en la comparativa entre estimación de volumen electrónica y estimación de volumen manual, se procedió a recorrer una fila de 6 olivos, con tres repeticiones como puesta a punto del sistema.

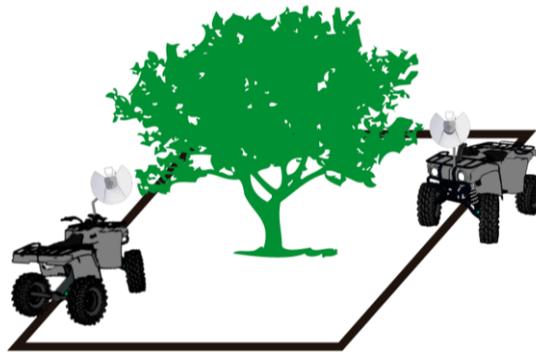


Figura 3. Estimación del volumen de un árbol con pasadas en forma de cuadrado.

2.5 Análisis de los datos procedentes del escáner laser

Los archivos generados durante el ensayo están estructurados en forma de tabla donde cada fila corresponde a un barrido del LIDAR y cada columna a un campo de información. Los primeros campos de cada fila contienen los datos aportados por el receptor GNSS, fundamentalmente las coordenadas latitud, longitud del punto desde donde se hace el barrido. Los siguientes campos corresponden a la distancia en milímetros a la superficie de impacto del haz laser.

Se ha desarrollado una aplicación VBA que permite el procesado de dichos archivos para obtener el volumen encerrado por la superficie explorada por el LIDAR, así como otros parámetros lineales de interés en la caracterización de la copa (altura, ancho, profundidad).

El protocolo seguido incluye los siguientes pasos:

- Conversión de coordenadas polares LIDAR a un sistema cartesiano x, y .
- Depuración de puntos para descartar los que salen fuera de la escena estudiada.
- En cada perfil, determinación de los puntos inicial y final de impacto sobre la copa.
- Determinación de los perfiles inicial y final de impacto sobre la copa.
- Cálculo de la superficie del polígono formado por cada perfil hasta el eje de la línea de árboles.
- Cálculo el volumen teniendo en cuenta las superficies de los perfiles y las distancias entre ellos.

La aplicación desarrollada incluye un módulo para convertir las coordenadas geográficas latitud, longitud en coordenadas proyectadas UTM, lo que facilita el cálculo de la distancia entre perfiles.

El volumen así determinado corresponde a la parte de copa entre el eje de la línea de árboles y el centro de la calle desde donde explora el LIDAR. Una exploración desde el lado opuesto dará como resultado el volumen complementario.

3. Resultados y discusión

Con el uso de la metodología de la curva de contorno realizada sobre un olivo aislado, se consiguió estimar un volumen medio de olivo de 7.38 m^3 con una desviación típica de 1.1 m^3 . Para ello fueron utilizadas 20 fotos de la copa del olivo. Para este mismo olivo y utilizando la metodología electrónica descrita en el apartado 2.3.1. en 2 repeticiones se ha obtenido un volumen medio de 6.66 m^3 y 6.25 m^3 . Según estos números se consigue una diferencia de un 9% y un 15% de menor volumen estimado con el sistema electrónico. Trabajos similares presentaron valores de variabilidad entorno al 10% cuando se comparan métodos estimación de volumen no electrónicos con electrónicos (Miranda-Fuentes et al., 2015).

La figura 4 muestra los límites superiores e inferiores en milímetros para cada uno de los seis olivos en los cuales se ha estimado su volumen. Además, en esta figura se observa como el programa desarrollado para filtrar los datos y estimar el volumen, ha sido capaz de detectar la falta de árbol sobre el perfil 67 y no detectar la línea de árboles siguiente.

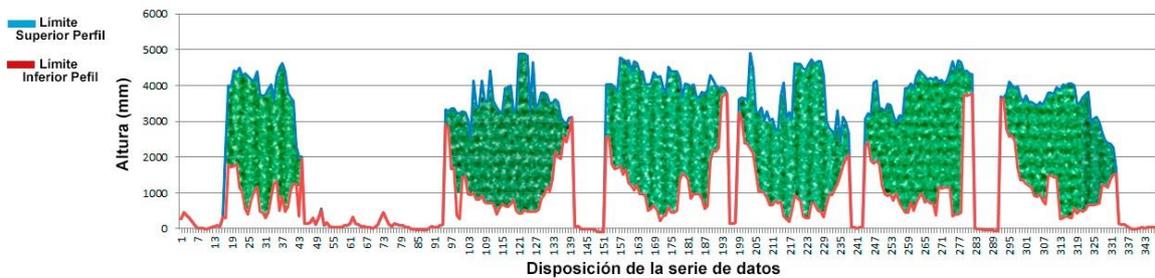


Figura 4. Perfiles y límites superiores e inferiores de seis olivos

La tabla 1 nos muestra los volúmenes obtenidos para cada uno de los olivos en las repeticiones realizadas, así como el volumen medio y la desviación típica.

Tabla 1. Volúmenes obtenidos con el escáner laser

Repetición	Volumen m^3					
	Olivo 1	Olivo 2	Olivo 3	Olivo 4	Olivo 5	Olivo 6
1	5.69	14.71	9.83	14.32	12.22	9.82
2	4.19	13.18	10.13	14.81	12.40	10.47
3	5.35	14.37	10.64	13.68	11.80	9.14
Media	5.08	14.09	10.20	14.27	12.14	9.81
Desviación Típica	0.78	0.81	0.41	0.57	0.31	0.67

4. Conclusiones

El desarrollo de una aplicación capaz de estimar el volumen de la copa de los árboles de forma automática con datos procedentes de un LIDAR permitirá en los próximos años trabajar con mapas de prescripción precisos para las aplicaciones químicas en árboles. Los autores consideran que el método no electrónico de estimación de volumen utilizado en este trabajo no da garantías para su comparación con el LIDAR, por lo que en un estudio próximo diseñaran un árbol artificial de volumen conocido para una validación más precisa.

5. Agradecimientos

Este artículo ha sido posible gracias a la financiación del proyecto el proyecto Nacional “AGL2013-46343-R” y el proyecto Autonómico de Excelencia “P12-AGR-1227”. Los autores desean expresar su reconocimiento a todos los participantes de los proyectos mencionados y al “Precision Agriculture Laboratory” de la Universidad de Sevilla (<http://grupo.us.es/pal/>).

Bibliografía

- Chen, Y., Zhu, H. and Ozkan, H. E. 2012. Development of a variable-rate sprayer with laser scanning sensor to synchronize spray outputs to tree structures. *Transactions of the ASABE*, 55(3), 773-781.
- Gil, E., Arnó, J., Llorens, J., Sanz, R. et al. 2014. Advanced Technologies for the Improvement of Spray Application Techniques in Spanish Viticulture: An Overview. *Sensors*, 14(1), 691-708.
- Goswami, A.K., Nagaraja, A. and Thakre, M. Canopy Management of Fruit Crops. Biotech, 2014, IARI, New Delhi- 110012
- Miranda-Fuentes, A., Llorens, J., Gamarra-Diezma, J.L., Gil-Ribes, J.A. and Gil, E. 2015. Towards and optimized method of olive tree crown volume measurements. *Sensors*, 15(2), 3671-3687.
- Palleja, T., Tresanchez, M., Teixido, M., Sanz, R. et al. 2010. Sensitivity of tree volume measurement to trajectory errors from a terrestrial LIDAR scanner. *Agricultural and Forest Meteorology*, 150(11), 1420- 1427.
- Rasband, W.S., ImageJ, U. S. National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, USA, <http://imagej.nih.gov/ij/>, 1997-2015.
- Testi, L., Goldhamer, D.A., Iniesta, F. and Salinas, M. 2008. Crop water stress index is a sensitive water stress indicator in pistachio trees. *Irrigation Science*, 26(5), 395-405.

[1] <http://oceanservice.noaa.gov/facts/lidar.html>

Desarrollo de aplicación para la estimación del volumen de estructuras arbóreas con LIDAR terrestre

J. Martínez¹, J. Agüera², D. Sarri³, R. Lisci³, M. Vieri³ y M. Pérez-Ruiz¹

¹ Universidad de Sevilla. Área de Ingeniería Agroforestal. Dpto. de Ingeniería Aeroespacial y Mecánica de Fluidos. Ctra. Utrera, km 1, 41013, Sevilla. E-mail: martinezj@us.es

² Universidad de Córdoba, Dpto. Ingeniería Rural. Campus Rabanales. Córdoba, Spain.

³ University of Florence, Dept. of Agricultural, Food Production and Forest Management. Piazzale delle Cascine 15, Florence, Italy

Introducción

En general, el árbol frutal presenta una vegetación con estructura compleja que dependerá fundamentalmente del manejo agrícola que se haga de la misma (ej. poda). Goswami et al., 2014 indicó que la productividad depende de muchos factores, pero que el más influyente es el manejo de la vegetación. El gran avance producido en los sensores remotos ha permitido que muchos grupos estén abordando la monitorización de cultivos con diferentes propósitos, conocer el estado nutricional del cultivo (Quebrajo et al., 2015), detección de mala hierba/cultivo (Slaughter et al., 2008), estrés hídrico (Testi et al., 2008), etc. Además, montados en diferentes tipo de plataformas. Tanto a nivel de investigación, y por supuesto comercial, hoy en día existe una temática muy importante que no se ha resuelto de forma completa, aunque existen muy buenas aproximaciones: los mapas de prescripción. La estimación de un volumen del árbol puede permitir optimizar la dosis de aplicación de agroquímicos de acuerdo a la vegetación que presenta. El objetivo de este trabajo ha sido el desarrollo y puesta en marcha de una aplicación para la estimación del volumen de vegetación en olivos que combina información de LIDAR y receptor GNSS de alta precisión.

Material y métodos

Los ensayos tuvieron lugar durante el mes de Noviembre de 2015 en una parcela experimental de olivos en la región italiana de la Toscana (43°68'N; 11°14'E) con un marco de plantación de los olivos de 6.5 m x 5 m. Como datos de referencia se caracterizó el volumen de la copa a partir de fotogrametría (ImageJ) alrededor del árbol y conocida la curva de contorno (área) y el centroide, se calculó el volumen de revolución por el Teorema de Pappus-Guldinus.

Para la caracterización electrónica del volumen de copa se empleó un sensor LIDAR de doble pulso (SICK LMS111) y un receptor RTX-GNSS (modelo Trimble BX982) para georreferenciar las medidas, ambos montados a bordo de un ATV. Con ello se realizaron una serie de pasadas "en cuadrado" y a lo largo de las filas de olivos a 1.5 Km/h y a 3.8 m de distancia del eje del árbol, escaneando con un intervalo de medición angular entre -45° y 90° con una resolución angular de 0.5°.

La aplicación desarrollada en VBA permite obtener el volumen encerrado por la superficie explorada con el LIDAR así como otros parámetros de interés en la caracterización de la copa (altura, ancho y profundidad). El protocolo seguido por la aplicación es el siguiente: **1)** Conversión de coordenadas polares LIDAR a un sistema cartesiano x, y. **2)** Depuración de puntos para descartar los que salen fuera de la escena estudiada. **3)** En cada perfil, determinación de los puntos inicial y final de impacto sobre la copa. **4)** Determinación de los perfiles inicial y final de impacto sobre la copa. **5)** Cálculo de la superficie del polígono formado por cada perfil hasta el eje de la línea de árboles. **6)** Cálculo el volumen teniendo en cuenta las superficies de los perfiles y las distancias entre ellos.

Una exploración desde el lado opuesto dará como resultado el volumen complementario.

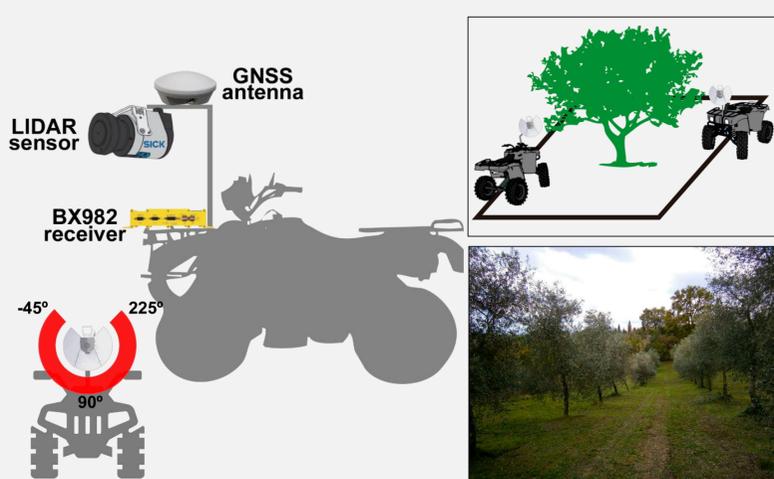


Fig. 1. Elementos para la toma de datos montados en el ATV (izqda.) y esquema de pasadas en cuadrado e imagen de la parcela de ensayos (dcha.)

Resultados y discusión

Con el uso de la metodología de la curva de contorno realizada sobre un olivo aislado, se consiguió estimar un volumen medio de olivo de 7.38 m³ con una desviación típica de 1.1 m³. Para ello fueron utilizadas 20 fotos de la copa del olivo. Para este mismo olivo y utilizando la metodología electrónica descrita anteriormente, en 2 repeticiones se ha obtenido un volumen medio de 6.66 m³ y 6.25 m³. Según estos números se consigue una diferencia de un 9% y un 15% de menor volumen estimado con el sistema electrónico. Trabajos similares presentaron valores de variabilidad entorno al 10% cuando se comparan métodos estimación de volumen no electrónicos con electrónicos (Miranda-Fuentes et al., 2015).

La figura 2 muestra los límites superiores e inferiores en milímetros para cada uno de los seis olivos en los cuales se ha estimado su volumen. Además, en esta figura se observa como el programa desarrollado para filtrar los datos y estimar el volumen, ha sido capaz de detectar la falta de árbol sobre el perfil 67 y no detectar la línea de árboles siguiente.

La tabla 1 nos muestra los volúmenes obtenidos para cada uno de los olivos en las repeticiones realizadas, así como el volumen medio y la desviación típica.

Tabla 1. Volúmenes obtenidos con el escáner LIDAR

Repetición	Volumen m ³					
	Olivo 1	Olivo 2	Olivo 3	Olivo 4	Olivo 5	Olivo 6
1	5.69	14.71	9.83	14.32	12.22	9.82
2	4.19	13.18	10.13	14.81	12.40	10.47
3	5.35	14.37	10.64	13.68	11.80	9.14
Media	5.08	14.09	10.20	14.27	12.14	9.81
Desviación Típica	0.78	0.81	0.41	0.57	0.31	0.67

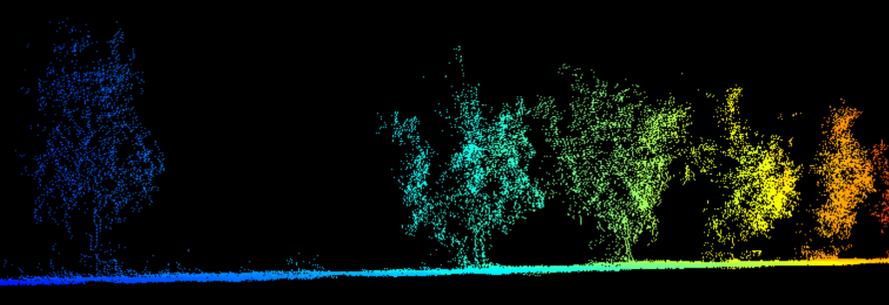
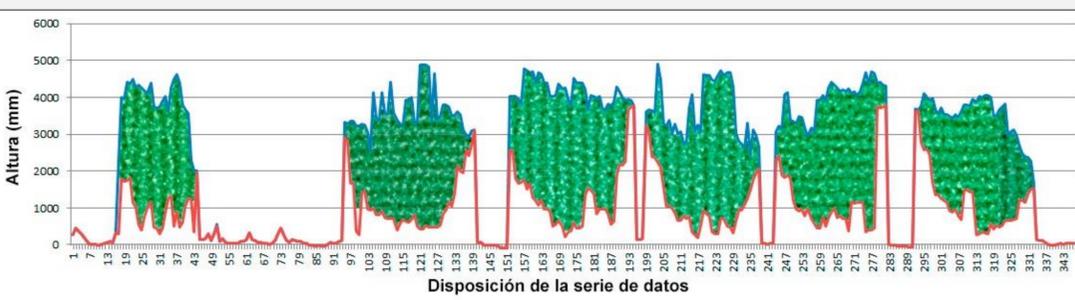


Fig. 2. Perfiles y límites superiores e inferiores de seis olivos (arriba) y vista de la nube de puntos generada por el escáner LIDAR (abajo).

Conclusiones

El desarrollo de una aplicación capaz de estimar el volumen de la copa de los árboles de forma automática con datos procedentes de un escáner LIDAR permitirá en los próximos años trabajar con mapas de prescripción precisos para realizar aplicaciones químicas en árboles que se ajusten de forma lo más exacta posible a las necesidades reales del cultivo. La utilización de este tipo de escáneres montados sobre un vehículo terrestre o aéreo permite calcular de forma precisa el volumen de los cultivos, algo que puede resultar de relevancia a la hora de estimar producciones de forma previa a la cosecha. Los autores consideran que el método no electrónico de estimación de volumen utilizado en este trabajo no da garantías para su comparación con el LIDAR, por lo que en un estudio próximo diseñarán un árbol artificial de volumen conocido para una validación más precisa.

Referencias bibliográficas

Goswami, A.K., Nagaraja, A. and Thakre, M. Canopy Management of Fruit Crops. Biotech, 2014, IARI, New Delhi-110012
D.C. Slaughter, D.K. Giles, D. Downey. Autonomous robotic weed control systems: A review. Computers and Electronics in Agriculture Volume 61, Issue 1, April 2008, Pages 63–78.
Lucía Quebrajo, Manuel Pérez-Ruiz, Antonio Rodríguez-Lizana, and Juan Agüera. An Approach to Precise Nitrogen Management Using Hand-Held Crop Sensor Measurements and Winter Wheat Yield Mapping in a Mediterranean Environment. Sensors 2015, 15(3), 5504-5517.
Miranda-Fuentes, A., Llorens, J., Gamarra-Diezma, J.L., Gil-Ribes, J.A. and Gil, E. 2015. Towards an optimized method of olive tree crown volume measurements. Sensors, 15(2), 3671-3687.
Rasband, W.S., ImageJ, U. S. National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, USA, http://imagej.nih.gov/ij/, 1997-2015.
Testi, L., Goldhamer, D.A., Iniesta, F. and Salinas, M. 2008. Crop water stress index is a sensitive water stress indicator in pistachio trees. Irrigation Science, 26(5), 395-405.

Agradecimientos

Este artículo ha sido posible gracias a la financiación del proyecto Nacional "AGL2013-46343-R" y el proyecto Autonómico de Excelencia "P12-AGR-1227".

Además la realización de este trabajo ha sido posible por la colaboración entre los grupos de Agricultura de Precisión de las Universidades de Sevilla (Grupo PAL) y de la Università degli Studi di Firenze.