



# Sistema LiDAR para evaluar la deriva. Medidas con diferentes tipos y calibres de boquilla

Eduard Gregorio<sup>1</sup>, Xavier Torrent<sup>1</sup>, Santiago Planas<sup>1</sup>, Joan R. Rosell-Polo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Grupo de Investigación en AgróTICa y Agricultura de Precisión (GRAP), Departamento de Ingeniería Agroforestal, Universitat de Lleida (UdL) – Agrotecnio Center, Lleida, España; egregorio@eagrof.udl.cat

**Resumen:** La deriva es uno de los principales problemas asociados a la aplicación de productos fitosanitarios en tanto que conlleva importantes riesgos para la salud de personas y animales, y supone una fuente de polución de primera magnitud. Los métodos habitualmente utilizados para evaluar la deriva en campo resultan muy costosos tanto en términos de recursos humanos como de tiempo, requiriendo además la realización de análisis químicos a posteriori. Ante la necesidad de disponer de métodos de evaluación más eficientes, se ha desarrollado un sistema LiDAR (*light detection and ranging*) ocularmente seguro y específicamente diseñado para la detección y medida de la deriva en campo. Se trata de un instrumento de teledetección activa basado en un emisor láser pulsado con 1.5  $\mu\text{m}$  de longitud de onda y 3 mJ de energía, y con un área receptora de 80 mm de diámetro. El sistema es capaz de monitorizar las nubes de deriva en tiempo real y con elevada resolución en distancia. En este trabajo se presentan 23 ensayos de pulverización realizados con la máquina estática y donde se utilizó el sistema LiDAR para medir la deriva generada. Las medidas LiDAR permitieron diferenciar claramente las boquillas convencionales de las boquillas de reducción de deriva, proporcionando estas últimas una disminución de la deriva comprendida entre el 88.6% y el 93.6%. Por otro lado, fue posible ordenar las boquillas convencionales de distinto calibre de acuerdo con los potenciales de reducción determinados con el LiDAR.

**Palabras clave:** láser, pulverizador, teledetección, productos fitosanitarios, boquillas de reducción de deriva.

## 1. Introducción

La deriva se define como aquella cantidad de producto fitosanitario que es arrastrada fuera de la zona pulverizada por la acción de corrientes de aire durante el proceso de aplicación [1]. Con objeto de minimizar los efectos de la deriva, resulta fundamental comprender los mecanismos que gobiernan este fenómeno. Por otro lado, es necesario clasificar los equipos de aplicación de acuerdo a la deriva generada en condiciones operativas reales. En respuesta a estas necesidades, se han desarrollado numerosos métodos para estudiar la deriva y que pueden clasificarse en dos grupos: métodos directos y métodos indirectos. En los métodos directos se utilizan colectores puntuales, activos o pasivos, en combinación con trazadores, para medir la deriva generada durante operaciones reales de pulverización. Estos ensayos demandan una gran cantidad de personal y de tiempo, están sujetos a la variabilidad de las condiciones meteorológicas imperantes, y requieren la realización de análisis químicos a posteriori. La complejidad de los métodos directos, junto con su baja repetitividad, provoca que actualmente se plantee una revisión en profundidad de los mismos [2]. Por su parte, los métodos indirectos

permiten evaluar el potencial de deriva [3] mediante la realización de ensayos en condiciones controladas, ya sea en túneles de viento [4] o a partir de la distribución del tamaño de gota de la pulverización [5]. Pese a sus ventajas en términos de repetitividad, los métodos indirectos son incapaces de reproducir en su totalidad las condiciones que intervienen en las aplicaciones reales.

La tecnología LiDAR (*light detection and ranging*) supone una alternativa para la medida de la deriva, tal como ha sido demostrado por diversos autores [6-8] atendiendo a sus ventajas en términos de capacidad de monitorización. Sin embargo, hasta el momento, los sistemas LiDAR han sido poco utilizados en los estudios de deriva debido a que suele tratarse de instrumentos diseñados para el sondeo atmosférico, siendo complejos, costosos, y, habitualmente, ocularmente no seguros. En los últimos años, el Grupo de Investigación en Agróica y Agricultura de Precisión (GRAP) de la UdL ha desarrollado un nuevo instrumento para la medida de la deriva en campo, basado en tecnología LiDAR (*light detection and ranging*) [9]. El sistema desarrollado permite medir la deriva en tiempo real y con elevada resolución en distancia, pudiendo generar mapas 2D de la misma gracias a su capacidad de escaneo. Además, se trata de un instrumento portátil, ocularmente seguro y que puede ser operado por un único usuario. Se han comparado las medidas de deriva utilizando el sistema LiDAR con las realizadas mediante métodos directos e indirectos [10,11], obteniéndose elevadas correlaciones en ambos casos.

En este trabajo se presentan los últimos avances en el desarrollo del sistema LiDAR y se evalúa su capacidad para diferenciar y clasificar boquillas de pulverización en función de su potencial de reducción de deriva.



**Figura 1.** (a) Subsistema emisor y receptor: 1) emisor láser; 2) expansor del haz; 3) telescopio receptor; 4) ópticas de focalización; 5) módulo fotoreceptor APD. (b) Sistema LiDAR dispuesto en campo: 6) cabezal protector; 7) posicionador (*pan & tilt*); 8) electrónica de control y tarjeta de adquisición; 9) ordenador.

## 2. Materiales y métodos

### 2.1. Sistema LiDAR

Este instrumento está constituido por un emisor láser (*Erbium glass laser*) con una longitud de onda de 1534 nm, 3 mJ de energía por pulso y frecuencia de repetición ajustable hasta 10 Hz. La seguridad ocular se consigue gracias a un expansor que incrementa el diámetro del haz láser emitido por un factor 20. Parte de la señal retrodispersada por el blanco (en este caso, la nube de deriva) es capturada mediante un telescopio con una apertura de 80 mm. La luz recogida por el telescopio es filtrada y focalizada por medio de un conjunto de ópticas hasta la superficie del módulo fotoreceptor APD (*avalanche photodiode*) que se encarga de convertir la señal óptica en una señal eléctrica. Esta señal es muestreada mediante una tarjeta de adquisición (500 MS/s, 12 bits) y enviada al ordenador de control.

En la Fig. 1(a) se muestra la configuración interna de los subsistemas emisor y receptor, mientras que la Fig 1(b) presenta el sistema LiDAR dispuesto en campo durante la realización de un ensayo de deriva. Puede observarse que los subsistemas emisor y receptor se ubican en el interior de un cabezal protector, el cual es fijado a un posicionador (*pan & tilt unit*) que permite apuntar el sistema, o bien programar secuencias de escaneo en azimut o elevación a diferentes velocidades. Se ha desarrollado un software ad-hoc que facilita el control de todo el sistema (láser, posicionador, adquisición de señal) por parte de un único usuario y que, además, permite visualizar la señal retrodispersada en tiempo real o bien almacenarla para su post-procesado. El sistema presenta una estructura modular que facilita su transporte, así como una rápida instalación en campo.

## 2.2. Ensayos de pulverización

Con el objetivo de estudiar la capacidad del sistema LiDAR para diferenciar tipos y calibres de boquillas, se llevaron a cabo 23 ensayos con un pulverizador hidroneumático (Teyme Eolo 2091, Teyme Tecnología Agrícola SL, Torre-Serona, España), el cual se mantuvo en posición estática durante todos los ensayos. Tal como se muestra en la Tabla 1, se evaluaron 10 boquillas de cono hueco de las series ATR (boquilla estándar) y TVI (boquilla de reducción de deriva) de la marca Albus (Solcera, Evreux, Francia). Los ensayos se realizaron, mayoritariamente, a una presión de trabajo de 700 kPa y con la velocidad baja del ventilador (velocidad del aire de  $5.7 \pm 2.7 \text{ m}^{-1}$ , medida a una distancia de 2.4 m del eje central del ventilador), si bien el día 11/11/15 se llevaron a cabo dos ensayos a 1000 kPa y dos más con la velocidad elevada del ventilador. La experimentación se repitió en invierno y en verano, para verificar la consistencia de los resultados obtenidos, así como la posible influencia de las condiciones meteorológicas.

**Tabla 1.** Descripción de los ensayos de pulverización.

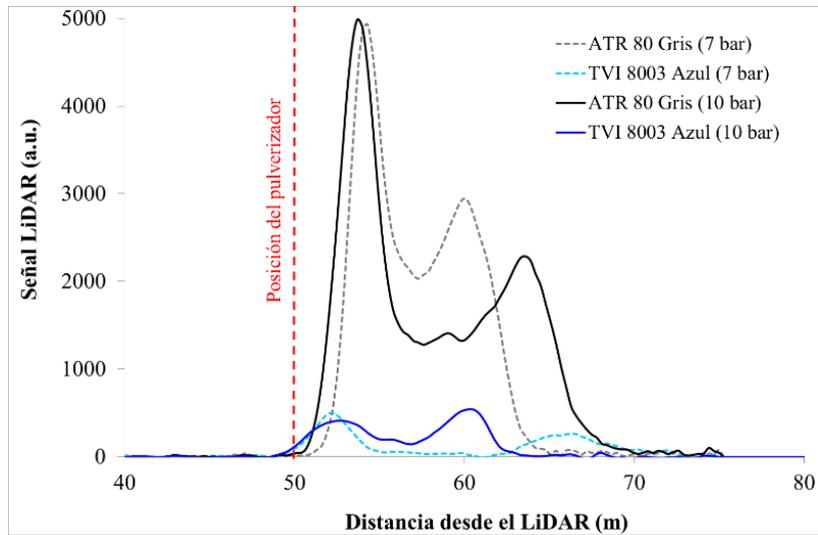
| Fecha    | Boquillas                                                    | Presión (kPa) | Velocidad ventilador |
|----------|--------------------------------------------------------------|---------------|----------------------|
| 11/11/15 | ATR 80 Gris<br>TVI 8003 Azul                                 | 700 / 1000    | Baja / Alta          |
| 25/1/16  | ATR 80 Lila, Marrón, Amarilla, Naranja,<br>Roja, Gris, Verde | 700           | Baja                 |
| 4/7/17   | ATR 80 Lila, Marrón, Amarilla, Naranja,<br>Roja, Gris, Verde | 700           | Baja                 |
| 4/7/17   | TVI 8003 Azul, 8002 Amarilla, 8001 Naranja                   | 700           | Baja                 |

## 3. Resultados y discusión

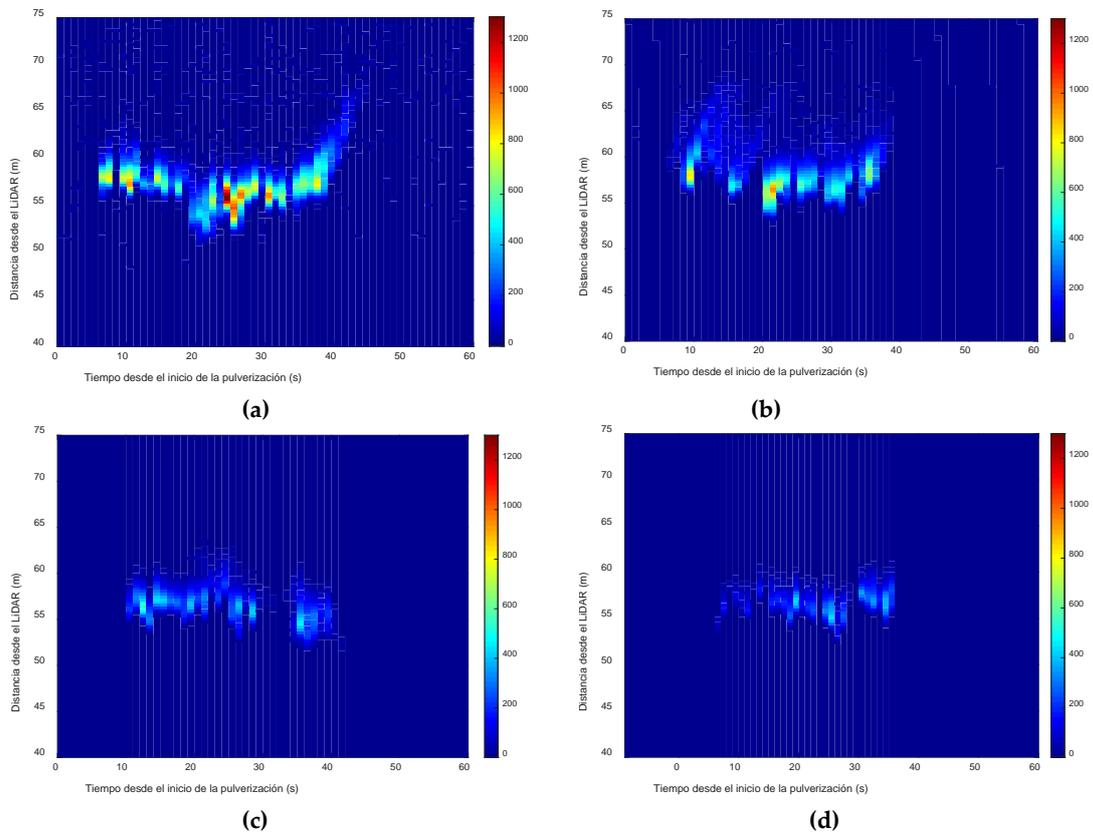
### 3.1. Efecto del tipo de boquilla

En la Fig. 2 se muestran las curvas de medidas LiDAR (integradas en el tiempo) en función de la distancia, correspondientes a cuatro ensayos realizados en otoño (11/11/15), donde se testaron una boquilla convencional (ATR 80 gris) y una boquilla de reducción de deriva (TVI 8003 azul) con caudales de pulverización similares. Al comparar las señales obtenidas con la boquilla TVI (área bajo la curva) con las resultantes para la boquilla ATR, se obtuvieron atenuaciones del 88.6 % y 87.7% para las presiones de 700 y 1000 kPa, respectivamente. Los dos picos que aparecen en cada una de las curvas corresponden a la pulverización generada por cada uno de los lados del atomizador. Reducciones similares se presentaron en los ensayos de verano (4/7/17), al comparar de nuevo las boquillas ATR 80 gris y TVI 8003 azul (92.3%), las boquillas ATR 80 naranja y TVI 8002 amarilla (93.6%) y las boquillas ATR 80 marrón y TVI 8001 naranja

(91.5%). Estos resultados ponen de manifiesto que el sistema LiDAR es capaz de diferenciar claramente entre boquillas convencionales y boquillas de reducción de deriva.



**Figura 2.** Medidas LiDAR (integrada en el tiempo) de la deriva versus distancia. Ensayos del día 11/11/15 con las boquillas ATR 80 gris y TVI 8003 azul a presiones de trabajo de 700 y 1000 kPa y velocidad baja del ventilador.



**Figura 3.** Medidas LiDAR de la evolución temporal y en distancia de la deriva. Ensayos del día 4/7/17 con las siguientes boquillas: (a) ATR 80 lila, (b) ATR 80 amarilla, (c) ATR 80 roja, (d) ATR 80 verde. Presión de trabajo de 700 kPa y velocidad baja del ventilador.

### 3.2. Efecto del calibre de boquilla

Tal como se muestra en la Fig. 3, una alternativa para visualizar la señal LiDAR es mediante gráficas RTI (*range-time intensity*). Este tipo de gráficas se generan a partir de la señal LiDAR recibida para cada distancia e instante de tiempo y permiten conocer la evolución temporal y en distancia de la nube de deriva. También se obtiene información acerca de la concentración, puesto que está relacionada con la intensidad de la señal LiDAR.

La Fig. 3 presenta las gráficas RTI correspondientes a cuatro ensayos de pulverización realizados en verano (4/7/17) con diferentes calibres de boquillas convencionales (ATR 80 lila, amarilla, roja, verde). Para poder comparar las gráficas, éstas han sido normalizadas considerando los volúmenes de caldo pulverizados en cada ensayo. De forma cualitativa se observa que a medida que se incrementa el calibre de la boquilla, se va atenuando la correspondiente nube de deriva, disminuyendo su concentración, dimensiones y tiempo de remanencia en el aire. Estos resultados también pueden evaluarse cuantitativamente, calculando la señal integrada para todo el período ensayado y rango de distancias en el que se ubica la nube. Así, tomando como referencia la boquilla ATR 80 lila (Fig. 3a) por ser la de menor calibre, se obtiene una reducción de señal del 32.3% para la ATR 80 amarilla (Fig. 3b), del 58.1% para la ATR 80 roja (Fig. 3c) y del 64.3% para la ATR 80 verde (Fig. 3d). Estos resultados son razonables puesto que boquillas con mayor calibre, generan gotas de mayor diámetro y, por tanto, con menor tendencia a ser arrastradas por el aire (menor deriva).

Cabe indicar que en los ensayos realizados en invierno (25/1/16), se obtuvieron resultados muy similares a los presentados en Fig. 3 para verano. En ambos casos, el sistema LiDAR fue capaz de diferenciar y ordenar los calibres de las boquillas ATR atendiendo a su potencial de reducción de deriva.

## 4. Conclusiones

Se ha demostrado la capacidad del sistema LiDAR desarrollado para diferenciar la deriva generada por diferentes tipos y calibres de boquillas. Estos resultados, junto con la posibilidad de que un solo operador pueda llevar a cabo medidas de deriva con elevada resolución temporal y en distancia, y sin necesidad de análisis químicos posteriores, posicionan la tecnología LiDAR como una clara alternativa a los actuales métodos basados en colectores puntuales.

Trabajos futuros incluirán la extensión en campo de estudios comparativos con el sistema LiDAR, donde se evaluarán diferentes estrategias de medida (escaneo en elevación, azimut, estático) bajo condiciones reales de pulverización. Este trabajo experimental debe conducir al desarrollo de un nuevo protocolo para medir la deriva basado en la tecnología LiDAR, que permita realizar este tipo de ensayos de una forma menos costosa que la actual. En relación al prototipo desarrollado, se plantea llevar a cabo una miniaturización del mismo, que, además de reducir los costes, incremente la versatilidad de este instrumento.

## 5. Agradecimientos

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por la Secretaria d'Universitats i Recerca del Departament d'Empresa i Coneixement de la Generalitat de Catalunya, el Ministerio de Economía y Competitividad de España, y el European Regional Development Fund (ERDF) a través de los proyectos 2017 SGR 646, AGL2007-66093-C04-03, AGL2010-22304-04-C03-03, y AGL2013-48297-C2-2-R. Deseamos agradecer a la Universitat de Lleida por la beca pre-doctoral de X. Torrent. Agradecemos al Institut de Recerca en Tecnologia Agrària (IRTA) por permitir la utilización de sus campos experimentales, y a Vicenç Maquinària Agrícola por proporcionar el tractor. Los autores desean dar las gracias a A. Checa (Randex Iberica, S.L.) por facilitarnos gratuitamente las boquillas Albuz necesarias para los ensayos. También deseamos dar las gracias a R. Lavilla, E. Ordoño y F. Solanelles por su colaboración en el trabajo experimental.

## Referencias

1. ISO 22866, 2005. Equipment for crop protection - Methods for field measurement of spray drift. International Organization for Standardization, Geneva.
2. Gil E., Llorens J., Gallart M., Gil-Ribes J.A., Miranda-Fuentes A., 2018. First attempts to obtain a reference drift curve for traditional olive grove's plantations following ISO 22866. *Sci Total Environ* 627, 349–360.
3. ISO 22856, 2008. Equipment for crop protection - Methods for the laboratory measurement of spray drift - Wind tunnels. International Organization for Standardization, Geneva.
4. Nuyttens D., Taylor W.A., De Schampheleire M., Verboven P., Dekeyser D., 2009. Influence of nozzle type and size on drift potential by means of different wind tunnel evaluation methods. *Biosyst. Eng.* 103, 271–280. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2009.04.001>.
5. Van de Zande J.C., Holterman H.J., Wenneker M., 2008. Nozzle classification for drift reduction in orchard spraying: Identification of drift reduction class threshold nozzles. *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal. Manuscript ALNARP 08 0013. Vol. X.*
6. Hoff R.M., Mickle R.E., Froude F.A., 1989. A rapid acquisition lidar system for aerial spray diagnostics. *Trans. ASAE* 32(5), 1523–1528.
7. Stoughton T.E., Miller D.R., Yang X., Ducharme K.M., 1997. A comparison of spray drift predictions to lidar data. *Agric. For. Meteorol.* 88, 15–26. [https://doi.org/10.1016/S0168-1923\(97\)00056-7](https://doi.org/10.1016/S0168-1923(97)00056-7).
8. Hiscox A.L., Miller D.R., Nappo C.J., Ross J., 2006. Dispersion of fine spray from aerial applications in stable atmospheric conditions. *Trans. ASABE* 49, 1513–1520.
9. Gregorio E., Rocadenbosch F., Sanz R., Rosell-Polo J.R., 2015. Eye-Safe lidar system for pesticide spray drift measurement. *Sensors (Switzerland)* 15, 3650-3670. <https://doi.org/10.3390/s150203650>.
10. Gregorio E., Torrent X., Planas S., Solanelles F., Sanz R., Rocadenbosch F., Masip J., Ribes-Dasi M., Rosell-Polo J.R., 2016. Measurement of spray drift with a specifically designed lidar system. *Sensors (Switzerland)* 16, 499. <https://doi.org/10.3390/s16040499>.
11. Gregorio E., Torrent X., Planas S., Rosell-Polo J.R., 2019. Assessment of spray drift for hollow-cone nozzles: Part 2. Lidar technique (Submitted for publication).