

APLICABILIDAD DE LA TECNOLOGÍA LÁSER 3D PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LOS EQUIPOS DE APLICACIÓN DE ABONO MINERAL SÓLIDO

García Ramos F.J.; Pérez J.A.; Serreta A.; Boné A.; Aguirre J.
Escuela Politécnica Superior de Huesca. Universidad de Zaragoza
Ctra. Cuarte s/n 22071 Huesca.

Abstract

Currently, testing to characterize the fertilizer application equipment based on the implementation of the distribution curve with the product. In these trials, the applied fertilizer is collected in containers placed perpendicular to the path of advance of the machine, after which the containers are weighted, thus obtaining the product distribution. This is a very time-consuming test, with a lack of information in real time.

A study has been developed to analyze the applicability of a 3D laser to characterize the fertilizer spreaders. The laser is capable of obtaining the position of the fertilizer grains. The experiment consisted of a field test based on the UNE-EN 13739-2 and a static test. The results allowed to obtain the following characteristics of the work realized by the machine: maximum range of the application, symmetry of the application, fertilizer trajectory and fertilizer spatial distribution.

Keywords: *laser, fertilizer, fertilizer spreader*

Resumen

Actualmente los ensayos realizados para la caracterización de los equipos de aplicación de abonos sólidos se basan en la obtención de la curva de distribución del producto aplicado. Para ello, el abono aplicado se recoge en recipientes colocados perpendicularmente a la trayectoria de avance de la máquina, tras lo cual, dichos recipientes son pesados obteniendo así el perfil de distribución de producto. Se trata de un ensayo preciso pero muy laborioso de realizar, con un consumo de tiempo elevado, y ausencia de información en tiempo real.

En este trabajo se ha analizado la viabilidad de utilizar un láser escáner 3D como método alternativo a los ensayos tradicionales. El láser es capaz de obtener la posición de los granos de abono lanzados por la máquina. En la investigación se ha realizado un ensayo de campo en base a la norma UNE-EN 13739-2 y un ensayo estático donde, a partir de la información aportada por el láser, se pudieron obtener las siguientes características de la máquina abonadora: alcance máximo de la aplicación, simetría de la aplicación, trayectoria del producto y distribución espacial del producto.

Palabras clave: *laser, abonadora, abono mineral,*

1. Introducción

Actualmente, una de las máquinas más utilizadas para la aplicación de fertilizantes minerales sólidos es la abonadora centrífuga de doble disco. La abonadora debe ser capaz de aplicar una dosis superficial de abono distribuida de forma uniforme en la parcela. La aplicación de dosis excesivas o escasas puede producir contaminaciones medioambientales (Parris and Reille, 1999) o pérdidas de rendimiento en el cultivo (Sogaard and Kierkegaard, 1994).

Hay diversos factores que influyen en el proceso de aplicación del fertilizante: densidad y granulometría del fertilizante, características técnicas de la máquina, condiciones ambientales (humedad, temperatura) y anchura de trabajo de la máquina.

Para conocer, con un determinado tipo de abono y regulación de la máquina, la distribución superficial del producto aplicado se realizan ensayos dinámicos donde se obtiene el perfil transversal de distribución del abono. En estos ensayos, realizados con la máquina en movimiento, el abono aplicado se recoge en recipientes colocados perpendicularmente a la trayectoria de avance de la máquina, tras lo cual, dichos recipientes son pesados obteniendo así el perfil de distribución de producto que permite establecer la calidad del trabajo realizado por la máquina y el solape necesario entre pasadas sucesivas para conseguir una distribución uniforme en campo. Se trata de un ensayo preciso pero muy laborioso de realizar, con un consumo de tiempo elevado, y ausencia de información en tiempo real.

Como alternativa a los ensayos dinámicos se pueden utilizar modelos de estimación de la distribución superficial de las abonadoras en base a la predicción de la trayectoria que describen las partículas de abono. Tradicionalmente se han realizado diversos estudios para modelar la trayectoria descrita por las partículas de abono al ser lanzadas por la máquina y así poder simular diferentes condiciones de regulación de la misma (Hofstee, 1992; Grift, 2001; Aphale et al., 2003). Estos modelos se han perfeccionado con el objetivo de poder regular la máquina durante su trabajo en campo para aplicar dosis diferenciales de abono (Dintwa et al., 2004).

Los modelos matemáticos teóricos han ido evolucionando apoyándose en el uso de tecnología capaz de medir la velocidad y dirección de las partículas a la salida del disco, estimando así de una forma más precisa la trayectoria de las mismas. Hofstee (1994) utilizó una técnica basada en un sensor de ultrasonidos. Sin embargo la tecnología más utilizada se ha basado en la aplicación de diferentes tipologías de sensores ópticos. Así, Grift and Hofstee (1997, 2002) y Swisher Borgelt and Sudduth (2002) utilizaron sensores ópticos (photosensitive arrays) para determinar la velocidad de las partículas. Cointault Sarrazin and Paindavoine (2002) utilizaron una cámara CCD de alta resolución para estimar la trayectoria de los granos de abono. Esta misma tecnología fue perfeccionada por Villete et al., (2006) mediante el desarrollo de técnicas automáticas de análisis de las imágenes tomadas por una cámara CCD para estimar ángulo y velocidad de salida de las partículas de abono. El mismo grupo de investigación (Villete et al., 2008) aplicó métodos de procesamiento de imagen para estimar el ángulo vertical de las partículas a la salida del disco. Este hecho es interesante ya que la mayoría de los autores asumen que el plano de la imagen es paralelo al plano de la trayectoria de las partículas, lo cual solo ocurre si los discos son planos, no así en el caso de discos cóncavos.

La mayoría de los trabajos de investigación se han centrado en estimar la trayectoria de las partículas en base a su movimiento a la salida de los discos. Otra vía de trabajo ha sido la estimación de la distribución superficial real del producto. Hensel (2003) desarrolló una metodología para cuantificar la distribución superficial de abono en campo en base al procesamiento de imágenes georeferenciadas de la distribución real de producto. Miserque, Pirard

and Schenkel (2005) utilizaron la misma metodología para medir parámetros geométricos de partículas de abono en ensayos realizados en laboratorio. Lawrence, Yule and Coetzee (2007) utilizaron la tecnología de procesamiento de imágenes para cuantificar, mediante ensayos en laboratorio, la distribución de abono superficial al correlacionar el tamaño de las partículas con el peso real de las mismas.

Durante los últimos años la tecnología láser se ha desarrollado progresivamente y su aplicación se ha extendido al mundo de la maquinaria agrícola, principalmente para ayuda al autoguiado de las máquinas cosechadoras. Esta tecnología ha sido aplicada para caracterizar el trabajo realizado por pulverizadores hidroneumáticos para cultivos arbóreos (García-Ramos et al., 2009). Por lo tanto, su aplicabilidad a otro tipo de máquinas agrícolas como las abonadoras centrífugas de disco permitiría caracterizar con una gran precisión la distribución de partículas de abono obtenida con las diferentes regulaciones de la máquina.

2. Objetivos

El objetivo del trabajo ha sido analizar la viabilidad de utilizar tecnología láser 3D para caracterizar el trabajo realizado por una abonadora centrífuga de doble disco aplicando abono mineral sólido granulado.

3. Materiales y métodos

Se utilizó una abonadora suspendida de doble disco y un láser scanner 3D Leica. La abonadora se dispuso trabajando en estático dentro de una nave cerrada utilizando como abono sulfato amónico del 21 % nitrógeno. Para la caracterización del abono se midieron la densidad aparente y la granulometría.

En la superficie de la nave se distribuyeron cajas de 60 x 40 x 15 cm, con alveolos de misma altura para evitar el efecto rebote de los granos de abono conforme a la figura 1.

El láser se colocó en una plataforma elevada, en la parte posterior del almacén, unos metros más alejado del alcance máximo de la abonadora. La precisión del escaneado fue regulada para que en el punto más lejano (30 m), el escáner registrara puntos cada 2 cm, es decir, los puntos situados a 30 metros del escáner, estarían separados 2 cm, mientras que los situados a menor distancia tendrían más precisión. Esta precisión a una distancia concreta determina un ángulo de avance horizontal para el equipo y una cadencia de adquisición de puntos en la dirección vertical.

La abonadora se reguló para, con una anchura de trabajo de 12 m, aplicar tres dosis de abonado diferentes utilizando el manual de la abonadora para el grupo de fertilizantes y velocidades seleccionados (tabla 1). Después de la regulación, para tener conocimiento exacto de la cantidad de abono que la máquina dosificaba se contabilizó el abono que salía por cada uno de los dosificadores por unidad de tiempo, de tal forma, que se conocía de forma exacta la dosis aplicada por la abonadora.

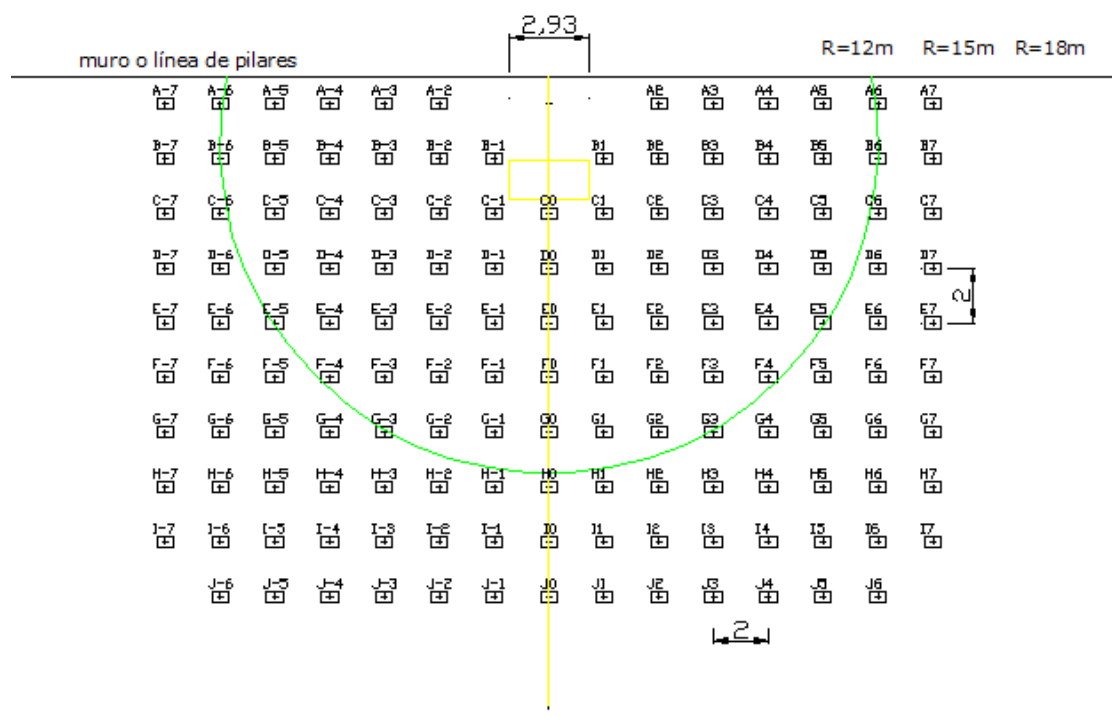
Durante la toma de datos se contabilizó el tiempo de trabajo de la abonadora para conocer la cantidad de abono aplicado por unidad de tiempo. Para cada dosis de aplicación el láser realizó 5 repeticiones diferentes. Los pesos de las cajas se recogieron la primera repetición, es decir, el

láser realizó el primer barrido, la abonadora paró de dosificar abono, de la misma forma se paró el tiempo, se recogió el abono depositado en cada caja en la bolsa correspondiente y se continuó aplicando abono para que el láser pudiera realizar las 4 repeticiones restantes.

Tabla 1. Posiciones de las correderas de los orificios de salida del abono en la tolva de la máquina abonadora para cada dosis.

Dosis (kg/ha)	Posición corredera
150	21
200	24
250	26

Figura 1. Esquema en planta seguido para la colocación de las cajas en el almacén para el ensayo estático. La abonadora se colocó equidistante de las cajas A-2 y A2.



Fi

Se analizaron los datos aportados por el láser y se realizaron los siguientes estudios:

- Correlación entre el número de puntos detectados por el láser y el peso de las muestras recogidas.

- Simetría del tratamiento realizado por la máquina.
- Máximo alcance del fertilizante aplicado.

4. Resultados

4.1. Correlación datos láser – peso muestras

Se realizó una regresión lineal múltiple tomando como variable dependiente al peso y como independientes a los puntos y su distancia al origen de lanzamiento. De este modo se observó si las variables (puntos y distancia) fueron dependientes del peso obtenido en el ensayo.

En este sentido se han realizado regresiones lineales múltiples para cada una de las dosis tomando como variable dependiente el “peso recogido en las cajas de muestreo durante el ensayo durante 60 minutos” y como variables independientes el “número de puntos detectados por el láser a una altura menor de 30cm en la zona de proyección de las cajas de muestreo” y “la distancia sobre el plano de trabajo de dichos puntos al origen de los discos de lanzamiento”.

La tabla 2 muestra el resumen de los datos para las diferentes dosis de trabajo. Se aprecia la buena correlación existente entre la información aportada por el láser y la distribución superficial de abono obtenida en los ensayos. Para el caso concreto de la información conjunta de los ensayos de las tres dosis se obtiene un coeficiente $R = 0,870$ y un coeficiente R^2 corregido de 0,7506, apareciendo como variable significativa el número de puntos detectados por el láser y no así la distancia. En base a esta información la tecnología láser podría ser utilizada como alternativa a los ensayos de muestreos y pesada mediante el establecimiento de ecuaciones matemáticas que correlacionasen el número de puntos detectados por el láser y su posición con el peso de abono distribuido superficialmente.

Esta información también podría ser utilizada para obtener los perfiles de distribución de abono considerando una velocidad de avance determinada de la máquina y las anchuras de solape entre pasadas necesarias para obtener la máxima uniformidad posible en la distribución del producto. Con esta tecnología se dispondría por lo tanto de una herramienta alternativa para caracterizar el trabajo de las abonadoras evitando los ensayos de campo.

Tabla 2. Coeficientes de correlación para las diferentes dosis de trabajo, el número de granos detectados por el láser y la distancia de lanzamiento. Las observaciones son producto de un muestreo de 60 minutos y una altura de 30 m.

Dosis de aplicación	Coeficiente de regresión	Coeficiente de determinación
kg/ha	R	R^2 ajustado
150	0,890	0,790
200	0,853	0,724
250	0,893	0,796
Datos de todas las dosis	0,870	0,756

4.2. Simetría del trabajo realizado por la máquina

Con los pesos y los puntos obtenidos del ensayo estático se estableció la simetría de la máquina, es decir, se evaluó si la cantidad de abono distribuida en el lado izquierdo de trabajo coincide con la del lado derecho. Con la simetría se puede establecer si la máquina se encuentra bien regulada a ambos lados.

Figura 2. Nube de puntos registrados por el láser escáner 3D para una dosis de 200 kg/ha, la cual, se encuentra separada por el eje central que viene dado por el centro de la abonadora.

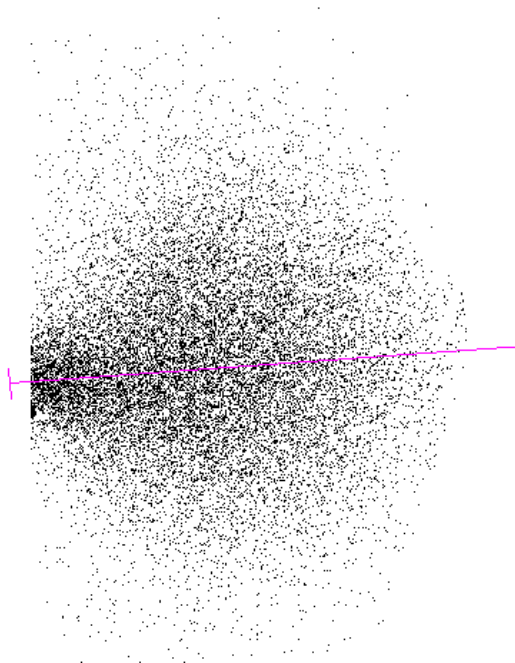
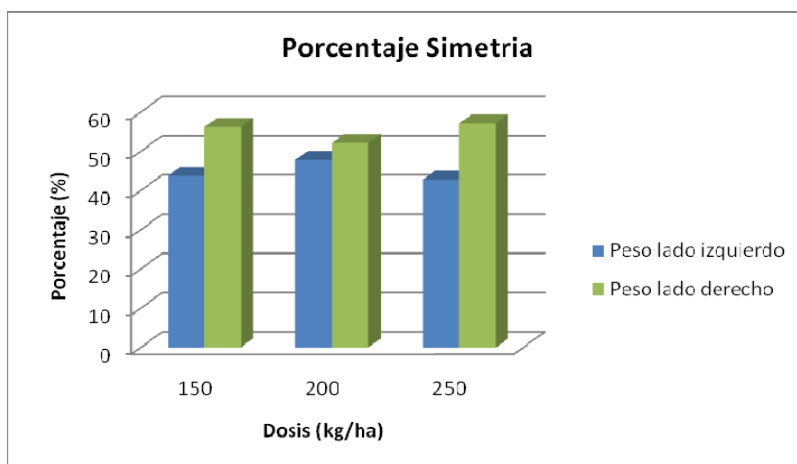


Figura 3. Porcentaje de pesos de los lados izquierdo y derecho respecto del total de peso para cada una de las dosis.



Se realizó el conteo del número de puntos sobre la propia imagen registrada por el láser escáner. En la figura 2, se representa la nube de puntos, el eje central y el número de puntos registrados a ambos lados del eje central de aplicación de la máquina para el ensayo de 200 kg/ha. Como ejemplo de datos de simetría para las diferentes dosis se adjunta la figura 3.

Como se puede apreciar, la información aportada por el láser permite conocer de forma detallada la calidad del trabajo realizado por la máquina y posibilita la aplicación de medidas correctoras en el diseño y regulación de la misma para garantizar una distribución lo más simétrica posible.

4.3. Alcance del producto aplicado

Teniendo en cuenta que la máquina fue regulada para aplicar tres dosis de abonado diferenciadas (150, 200 y 250 kg/ha) con una anchura de trabajo de 12 m, se analizó la utilidad de la información aportada por el láser para el estudio de la distancia de lanzamiento del abono.

Este hecho permitió conocer de forma detallada la calidad del trabajo de la máquina en dos aspectos muy importantes:

- Conocer si la distancia de trabajo a la que se ha regulado la máquina en función de las instrucciones de uso aportadas por el fabricante es correcta.
- Tener una información detallada de la distancia máxima de lanzamiento del abono para cumplir restricciones de contaminación medioambiental de cauces, entornos protegidos, etc.

Los valores estadísticos descriptivos de los ensayos realizados se reflejan en la tabla 3, donde se puede apreciar para cada dosis las distancias alcanzadas para todos los puntos detectados por el láser.

Tabla 3. Estadísticos descriptivos de la variable distancia en función de la dosis de regulación de la abonadora.

Dosis (kg/ha)	Nº de puntos detectados	Distancia media (m)	Distancia mínima (m)	Distancia Máxima (m)	Desviación típica (m)
150	506	11,06	5,18	25,34	3,25
200	531	10,66	5,42	20,53	2,98
250	925	11,00	5,50	24,34	2,99

Se ha realizado un análisis de varianza para conocer el efecto de la dosis sobre la variable distancia y no se han obtenido diferencias significativas. Analizando los datos de la tabla se pueden conocer las distancias máximas de lanzamiento del abono. Esta información permite establecer distancias de seguridad para evitar contaminaciones medioambientales. Sin embargo, a pesar de la ausencia de diferencia significativas, se puede observar como para la dosis de 200 kg/ha, las distancias de aplicación fueron menores. Este hecho revela la utilidad de la información aportada por el láser para poder contrastar con datos reales el error que se produce cuando la máquina es regulada para una determinada anchura de trabajo.

5. Conclusiones

La tecnología láser permite caracterizar el trabajo realizado por las abonadoras de doble disco de distribución de abono mineral sólido en lo referente a los siguientes aspectos relacionados con el trabajo de la máquina:

- Estimación de la distribución superficial de producto.
- Análisis de la simetría de la aplicación del producto.
- Alcance máximo del producto aplicado por la máquina.
- Análisis de la validez de las regulaciones propuestas por los fabricantes para las diferentes configuraciones (dosis de aplicación y anchuras de trabajo) de la máquina.

6. Referencias

- Aphale A.; N. Bolander; J. Park; L. Shaw; J. Svec; C. Wassgren. 2003. Granular Fertiliser Particle Dynamics on and off a Spinner Spreader. *Biosystems Engineering* 85 (3), 319–329.
- Cointault F, P Sarrazin and M Paindavoine. 2002. High resolution low cost imaging system for particle projection analysis: application to fertilizer centrifugal spreading. *Meas. Sci. Technol.* 13,1087–1093.
- Dintwa E; Tijskens E; Olieslagers R; Baerdemaeker JD; Ramon H. 2004. Calibration of a spinning disc spreader simulation model for accurate site-specific fertiliser application. *Biosystems Engineering* 88 (1), 49-62.
- García Ramos, F.J.; Serreta A.; Vidal M. 2009. Analysis of the path and dispersion of the drops applied by an air assisted sprayer using a laser scanner. V Congreso Nacional y II Congreso Ibérico de AgroIngeniería. Lugo (Spain): 28-30 Septiembre 2009.
- Grift T . E .; J . W . Hofstee. 1997. Measurement of Velocity and Diameter of Individual Fertilizer Particles by an Optical Method. *J . agric . Engng Res.* 66, 235 – 238
- Grift T. E. 2001. Mass flow measurement of granular materials in aerial application — part 1: simulation and modeling. *Transactions of the ASAE.* 44(1): 19–26.
- Hensel, O. 2003. A new methodology for mapping fertilizer distribution. ASAE Paper No. 031123. St. Joseph, Mich.: ASAE.
- Hofstee J W. 1992. Handling and spreading of fertilizers. Part 2: Physical properties of fertilizer, measuring methods and data. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 53, 141–162.
- Hofstee J W. 1994. Handling and spreading of fertilizers. Part 3: Measurement of particle velocities and directions with ultrasonic transducers, theory, measurement system and experimental arrangements. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 58(1), 1–16.
- Lawrence H. G., Yule I. J. y Coetzee M. G. 2007. “Development of an image-processing method to assess spreader performance”. *Transactions of the ASABE.* 50(2): 397–407.
- Miserque, O., E. Pirard, and Y. Schenkel. 2005. Spreading segregation of bulk blends. Presented at the 1st International Symposium on Centrifugal Fertiliser Spreading. Leuven, Belgium: Katholieke Universiteit Leuven. Available at: www.biw.kuleuven.be/aee/amc/research/dem/symp/index2.htm.

Parris K; Reille L. 1999. Measuring the environmental impacts of agriculture: use and management of nutrients. Proceedings no. 442. The International Fertiliser Society, York, UK.

Sogaard H T; Kierkegaard P. 1994. Yield reduction resulting from uneven fertilizer distribution. Transactions of the ASAE, 37(6), 1749–1752.

Swisher D. W., Borgelt S. C y Sudduth K. A. 2002. “Optical sensor for granular fertilizer flow rate measurement”. American Transactions of the ASAE. 45(4): 881–888.

Villette S; Cointault F; Chopinet B; Paindavoine M (2006). Optimizing Hough transform for fertilizer spreading optical control. Optical Engineering, 45(2), Article no. 027006.

Villette S., E. Piron, F. Cointault, B. Chopinet. 2008. Centrifugal spreading of fertiliser: Deducing three-dimensional velocities from horizontal outlet angles using computer vision. Biosystems Engineering 99: 496 – 507.