

M07 - Análisis CFD del comportamiento de las gotas pulverizadas con un turboatomizador durante los tratamientos fitosanitarios en cítricos

Salcedo, R.¹, Vallet, A.², Granell, R.¹, Garcerá, C.¹, Moltó, E.¹, Chueca, P.¹

¹ Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias - Centro de Agroingeniería. Ctra. Moncada-Náquera km 4.5, 46113 Moncada (Valencia, España). E-mail: chueca_pat@gva.es; ² Institut de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture, 361 rue JF Breton - 34 196 Montpellier (France).

Resumen

Durante la aplicación de fitosanitarios en cultivos arbóreos sólo una fracción del caldo pulverizado alcanza la vegetación objetivo. El resto se pierde por deriva, escorrentía, etc. Estas pérdidas suponen un riesgo para el medio ambiente y las personas. Conocer a dónde se dirigen y dónde se depositan las gotas puede ayudar a mejorar la eficiencia de la maquinaria, mejorar las aplicaciones y reducir éstas pérdidas. El objetivo de este trabajo fue simular mediante CFD el movimiento y deposición de las gotas pulverizadas con un turboatomizador durante los tratamientos fitosanitarios en cítricos. Para ello se realizó una simulación basada en un modelo euleriano-lagrangiano, que incluía tanto un modelo de las corrientes de aire generadas por el equipo, como el viento atmosférico, además del comportamiento individual de las gotas. Se representó la evolución de las partículas a lo largo de la simulación y se cuantificó la parte que se perdía en la atmósfera y la que se depositaba en la vegetación o en el suelo. Los resultados predijeron que el 33% de las gotas se depositó en el árbol objetivo, el 27% se evaporaron o se escaparon del dominio por encima de los 5m, el 15% se depositaron en el suelo o abandonaron el dominio por debajo de los 5 m y el 25% restante se depositó en los árboles de la segunda y tercera fila. El tamaño de las gotas va disminuyendo en el tiempo, de ahí que en cada destino predominen gotas de diferente tamaño, por ejemplo, en el árbol objetivo las gotas eran mayores que las que se perdían por deriva. Por tanto, los porcentajes de caldo respecto al total pulverizado fueron: el 44% terminó en el árbol objetivo, el 28% en los árboles adyacentes, el 20% en el suelo y un 8% se perdió como deriva.

Palabras clave: deposición, deriva, modelo euleriano-lagrangiano

CFD analysis of the behaviour of droplets from an air-blast sprayer during pesticide application on citrus

Abstract

During the application of pesticides in tree crops, only a fraction of the applied volume reaches the target vegetation while the rest is lost through drift, runoff, etc. These losses pose a risk to the environment and people. Knowing the behaviour of spray droplets can help to improve the application efficiency and reduce losses. Therefore, the aim of this study was to analyze through CFD the behaviour of the droplets sprayed with an air-blast sprayer for pesticide applications on citrus. A CFD simulation based on an eulerian-lagrangian model was proposed to simulate both air current of the sprayer and atmospheric wind current, besides the individual behaviour of the droplets. Monitoring of the evolution of the droplets along the model was made to see which part was lost in the atmosphere and which part was deposited on vegetation or ground. Model results predict that 33% of the droplets were deposited in the target tree, 27% of the droplets were evaporated or escaped from the domain above 5m high, 15% were deposited on the ground or left the domain from below 5 m high and the remaining 25% were deposited on the trees of the second and third row. The size of droplets decreases along the time so in each destine predominates a range of droplet size. For example, droplets deposited over the objective tree were higher than evaporate droplets. Therefore, the percentages of sprayed volume were: 44% of the total amount sprayed ended in the treatment target tree, 28% in adjacent trees, 20% was deposited on the ground and 8% was lost as atmospheric drift.

Keywords: deposition, drift, eulerian-lagrangian model.

Introducción

Durante las aplicaciones de fitosanitarios no todo el producto pulverizado alcanza la vegetación objetivo (Chen *et al.*, 2013). Una fracción de la pulverización cae directamente al suelo, otra se evapora rápidamente y parte se dispersa hacia la atmósfera, dejando el área objeto del tratamiento, proceso que se conoce como deriva (ISO 22866, 2005). Además, parte del caldo que alcanza la vegetación se escurre de los árboles y cae al suelo, que es lo que se denomina escorrentía. Estas pérdidas pueden suponer un riesgo para la salud de las personas y para el medio ambiente (Gil y Sinfort, 2005; Aktar *et al.*, 2009; Felsot *et al.*, 2010, Cunha *et al.*, 2012). Entre los factores que determinan la eficiencia las aplicaciones están el equipo de aplicación, el producto, la plaga o enfermedad que se trata de controlar, las condiciones ambientales y el cultivo.

España es uno de los principales productores mundiales de cítricos y el primer exportador para su consumo en fresco. La aplicación de pesticidas para la protección de este cultivo suele realizarse con equipos hidráulicos asistidos por aire también conocidos como turboatomizadores. En estos equipos, las gotas de caldo fitosanitario generadas por su paso a presión por las boquillas, son transportadas por la corriente de aire generada por el ventilador del equipo.

Para mejorar la eficiencia de las aplicaciones es necesario conocer el comportamiento de la pulverización durante la aplicación de los tratamientos fitosanitarios. Existen estudios experimentales de campo basados en el balance de masas durante las aplicaciones en cítricos. Así, Salyani *et al.* (2007) cuantificaron la deposición media sobre los árboles objetivo en un 76%, la deriva atmosférica en un 8% y las pérdidas de caldo fitosanitario en el suelo en un 13% en las condiciones agroclimáticas de Florida. En condiciones mediterráneas, Moltó *et al.* (2011) cuantificaron la deposición media sobre los árboles objetivo en un 40%, la deposición en los árboles de las calles adyacentes en un 10%, la deriva atmosférica en un 17%, las pérdidas de caldo fitosanitario en el suelo en un 23% (16% por pérdidas directas en la calle pulverizada y 7% por deriva depositada en las calles adyacentes) y se desconoce el destino para un 10%. La información obtenida a partir de los resultados de estas experiencias es muy importante, no obstante, hay que tener en cuenta que dependen de las condiciones meteorológicas específicas de los días de ensayo. Por otra parte, no es posible detectar las irregularidades espaciales en la nube de gotas, ya que están limitados por el número, la localización y la altura de los colectores que recogen las partículas. Además, son costosos tanto en tiempo como en recursos, humanos y económicos.

Para completar los conocimientos y visualizar el comportamiento de la nube de pulverización en general y de las gotas en particular, hoy en día existe la posibilidad de elaborar modelos lagrangianos que describen el comportamiento individual de partículas en el seno de un flujo. Sin embargo estos modelos no describen las corrientes turbulentas de aire, como las que salen del ventilador de un turboatomizador. Para ello es necesario integrar estos modelos con modelos eulerianos de dinámica de fluidos computacional (CFD) que usan métodos numéricos para resolver las ecuaciones de flujo de Navier-Stokes. Estos modelos permiten incluir numerosas variables que son muy difíciles de controlar en los experimentos de campo, como las condiciones meteorológicas del entorno (Reichard *et al.*, 1992), las características de la maquinaria (Delele *et al.*, 2007) y la estructura de la vegetación (Sanz, 2003). Por tanto, el objetivo del presente trabajo consistió en desarrollar un modelo euleriano-lagrangiano, que

simulara tanto las corrientes de aire del equipo y viento como el comportamiento individual de las gotas durante la aplicación de fitosanitarios en una plantación de cítricos en condiciones mediterráneas.

Materiales y Métodos

Características del modelo

Para desarrollar el modelo euleriano-lagrangiano de gotas se utilizó el modelo de flujo del aire de un turboatomizador en cítricos diseñado y validado por Salcedo *et al.* (2015). El dominio del modelo tenía 13 m de alto y 21 m de largo y en su interior se consideraron tres copas en representación de una sección de tres filas de cultivo (Figura 1). Basándose en experiencias previas (Salcedo *et al.*, 2013), la primera copa se diseñó como un cuerpo sólido y las otras dos copas como cuerpos porosos. La salida de aire (secciones A y B) representa a un ventilador enfrentado al primer alineado con el tronco y en posición estática. Para el mallado se utilizó una malla estructurada con celdas cuadriláteras de distribución uniforme.

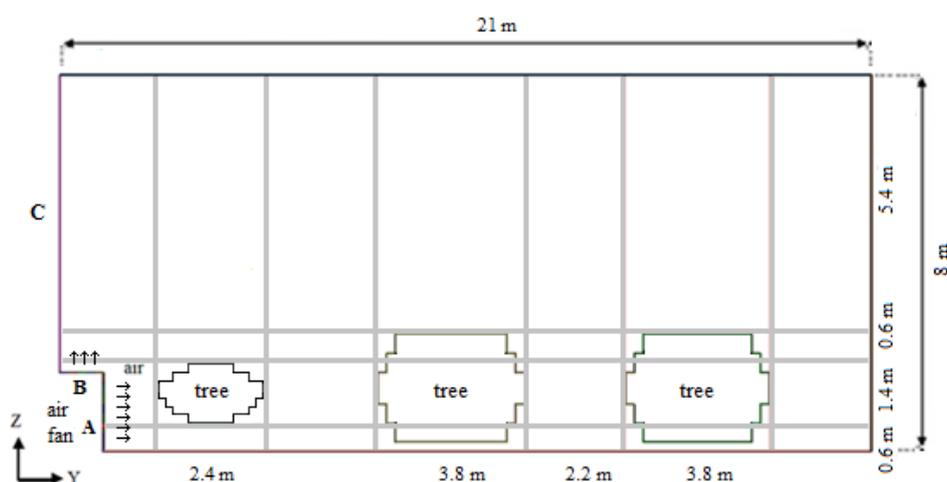


Figura 1. Dominio del modelo

En dicho modelo para simular el viento se introdujo el perfil de viento propuesto por Arya (1988). La dirección del viento se consideró perpendicular a las líneas de cultivo, la velocidad del viento de 1 m/s a una altura de 7 m respecto al suelo y la longitud de rugosidad de 0.001 m.

Para simular las gotas de la pulverización se introdujeron 1500 gotas y se seleccionó un seguimiento estocástico. La salida de las gotas en el modelo se definió en base a la posición del equipo respecto a las superficies A y B y la inclinación de cada portaboquillas respecto a la horizontal α en el trabajo de Moltó *et al.* (2011) (Figura 2). Se consideró que el espectro de tamaños de las gotas seguía una distribución de Rosin-Rammler. Para definir la distribución en el código CFD se introdujo un valor de 1 μm como diámetro mínimo, como diámetro medio se consideró un valor de 350 μm , que es el proporcionado por boquillas usualmente empleadas en tratamientos de cítricos, y como valor máximo la $Dv90$ que se corresponde con un valor de 444 μm . Para el parámetro de distribución de tamaños se consideró el valor de 5.3 calculado mediante la expresión de la distribución de Rosin-Rammler y los valores de los diámetros indicados.

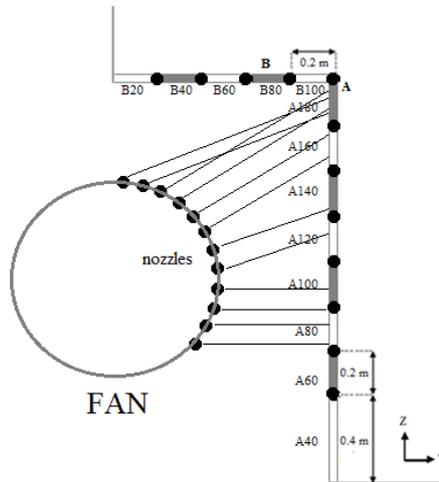


Figura 2. Posición de las boquillas y tramos por donde pasarán las gotas.

Para la modelización del aire y las gotas del pulverizador se utilizó el programa ANSYS Fluent (ANSYS, Inc. Canonsburg, PA, USA). Todos los parámetros simulados presentaron un valor mínimo del residuo normalizado de 10^{-4} .

La simulación se dividió en dos etapas teniendo en cuenta que se consideró que el equipo avanzaba por la calle de la plantación a una velocidad de 1.65 km/h. Una primera etapa que abarcaba desde el instante inicial ($t=0$ s) hasta $t=0.35$ s que era el tiempo en el que el equipo pasaba por la sección estudiada y por tanto las gotas eran pulverizadas y transportadas con el flujo del aire generado por el ventilador y una segunda etapa desde $t= 0.35$ s hasta que todas las gotas se habían depositado, evaporado o abandonado el dominio. En esta etapa se consideraba que el equipo se ha movido de su posición inicial y únicamente intervenía la acción del viento ambiental.

Resultados y Discusión

El comportamiento de las gotas pulverizadas a través del tiempo en la simulación puede observarse en la Figura 3 donde se presenta la posición de las partículas en seis momentos distintos de la simulación desde que salen de las boquillas. En los primeros 0.35 s un 33% de las gotas se depositaron sobre el primer árbol (Figura 23) mientras que alrededor de la mitad de las gotas (48%), siguieron el flujo ascendente del ventilador cuando choca contra el árbol, permaneciendo en el aire sobre la primera copa sobrepasando los 5.0 m de altura. Otra parte de las gotas (15%) pasaron por el espacio entre el primer árbol y el suelo y alcanzaron el segundo árbol. El 4% de las gotas restantes se evaporaron.

A los 2.35 s únicamente el 42% de las gotas iniciales permanecía en la simulación. La nube de gotas se encontraba a la altura del comienzo del segundo árbol, una parte importante de la misma por encima del árbol y una pequeña parte a la altura del tronco. En este tiempo, un 9% del total de gotas se depositó en el segundo árbol y un 15% se evaporó.

Pasados 8.35 s sólo el 12% de las gotas iniciales seguían en la simulación, el resto se habían depositado o evaporado. Las gotas seguían desplazándose hacia la derecha y se encontraban repartidas entre la segunda calle y cerca de los límites del dominio.

En el instante 11.35 s la nube de gotas sigue desplazándose hacia la derecha y parte de las gotas han salido del dominio, sólo un 7% del total de gotas continuaban en el aire, ubicadas en la zona del tercer árbol.

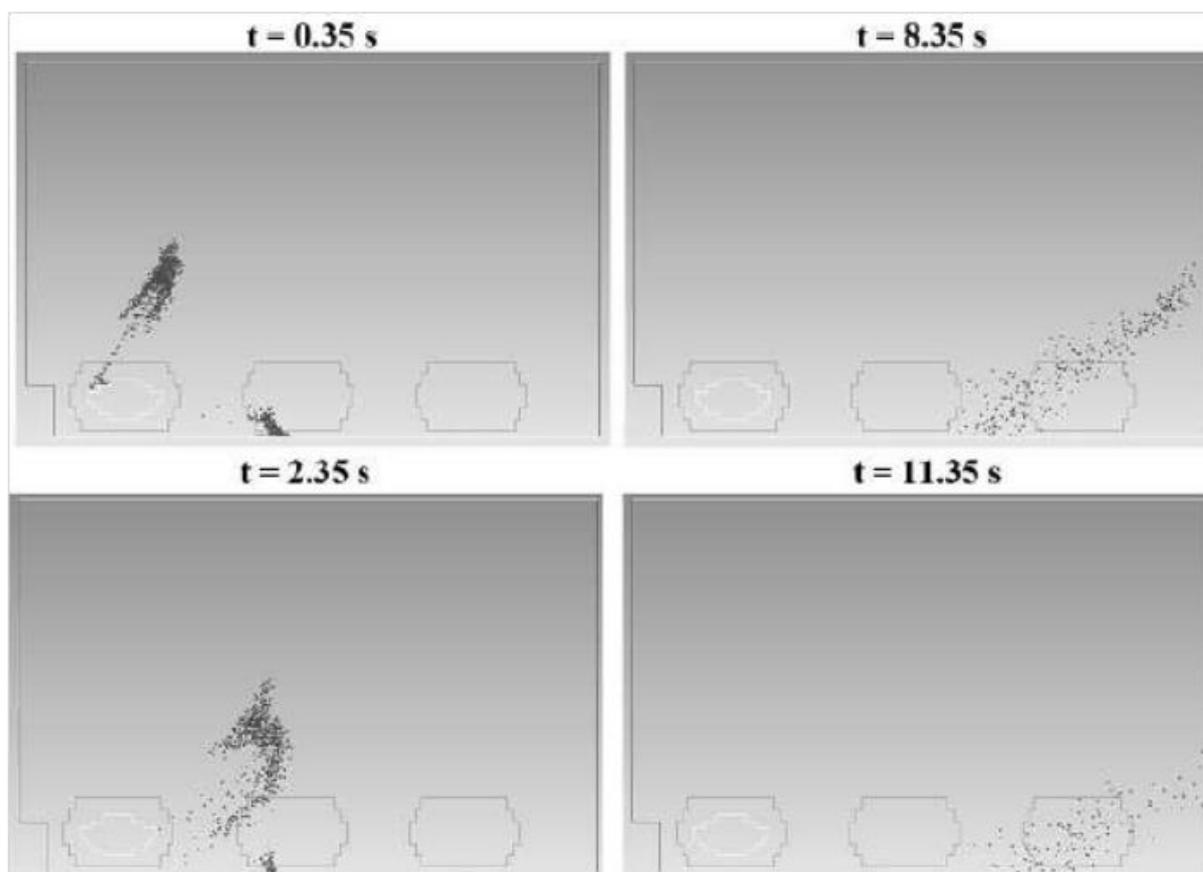


Figura 3. Posición de las gotas en seis momentos diferentes de la simulación desde que salen de las boquillas.

Los resultados de la simulación predijeron que el 33% de las gotas se depositó en el primer árbol, el 25% de las gotas se repartió entre el segundo y el tercer árbol, el 27% de las gotas se evaporó o se escapó del dominio por encima de los 5.0 m y el 15% de las gotas se depositaron en el suelo o abandonado el dominio por debajo de los 5.0 m. El tamaño de las gotas va disminuyendo en el tiempo, de ahí que en cada destino predominen gotas de diferente tamaño, por ejemplo, en el árbol objetivo las gotas eran mayores que las que se perdían por deriva. Por tanto, los porcentajes de caldo respecto al total pulverizado fueron: el 44% terminó en el árbol objetivo, el 28% en los árboles adyacentes, el 20% en el suelo y un 8% se perdió como deriva.

Conclusiones

Este trabajo concluye que el modelo euleriano-langrangiano en 2D propuesto representa de forma adecuada el movimiento de las gotas durante la aplicación de tratamientos fitosanitarios en cítricos, por lo que se presenta como una herramienta apropiada para estudiar el balance de masas de estas aplicaciones.

Agradecimientos

Esta investigación estuvo financiada por el Ministerio de Economía de España (proyecto AGL2007-66093-C04-01 y AGL2010-22304-C04-01) y la Fundación Europea para el Desarrollo Rural (FEDER). Ramón Salcedo es poseedor de una beca predoctoral FPI-INIA.

Bibliografía

- Aktar, M.W., Sengupta, D., Chowdhury, A., 2009. Impact of pesticides use in agriculture: their benefits and hazards. *Interdiscip. Toxicol.* 2, 1–12. doi:10.2478/v10102-009-0001-7
- Arya, S.P., 1988. *Introduction to micrometeorology*. Academic Press, San Diego.
- Chen, Y., Ozkan, E., Zhu, H., Derksen, R., and Krause, C. R. 2013. Spray deposition inside tree canopies from a newly developed variable-rate air-assisted sprayer. *T. ASABE* 56(6): 1263-1272.
- Cunha J.P., Chueca P., Garcerá C., Moltó E. 2012. Risk assessment of pesticide spray drift from citrus applications with air-blast sprayers in Spain. *Crop Prot* 42: 116-123. doi: 10.1016/j.cropro.2012.06.001
- Delele, M.A., Jaeken, P., Debaer, C., Baetens, K., Endalew, A.M., Ramon, H., Nicolaï, B.M., Verboven P., 2007. CFD prototyping of fan air-assisted orchard sprayer aimed at drift reduction. *Comput. Electron. Agric.* 55, 16-27.
- Felsot A.S., Unsworth J.B., Linders J.B.H.J., Roberts G., Rautman D., Harris C., Carazo E., 2010. Agrochemical spray drift; assessment and mitigation—A review. *Journal of Environmental Science and Health, Part B: Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes*, 46:1, 1-23.
- Gil, Y., Sinfort, C., 2005. Emission of pesticides to the air during sprayer application: A bibliographic review. *Atmos. Environ.* 39, 5183–5193. doi:10.1016/j.atmosenv.2005.05.019
- ISO, 2005. ISO/FDIS 22866. Equipment for crop protection. Methods for the field measurement of spray drift. International Standards Organization, Geneva (Switzerland).
- Moltó, E., Cruz, C., Chueca, P., 2011. Balance de masas en las aplicaciones de fitosanitarios en cítricos. *Levante Agríc. Rev. Int. Cítricos* 405, 79–87.
- Reichard, D.L., Zhu, H., Fox, R.D., Brazee, R.D., 1992. Computer simulations of variables that influences spray drift. *Trans. ASAE.* 35, 1401-1407.
- Moltó E., Salcedo, R., Garcerá, C., Palau, G., Granell, R., Chueca, P. 2013. Validación de un modelo CFD del comportamiento del aire producido por un turboatomizador frente a la copa de un naranjo. En: Ayuga *et al.*, (eds). Libro de Actas. VII Congreso Ibérico de Agroingeniería y Ciencias Hortícolas. UPM. Madrid, España. pp. 434-439. ISBN 10: 84-695-9055-3 y ISBN 13: 978-84-695-9055-3
- Salcedo, R., Garcerá, C., Granell, R., Chueca, P., Moltó, E. 2015. Description of the airflow produced by an air-assisted sprayer during pesticide applications to citrus. *Span. J. Agric. Res.* 13 (2) (in press).
- Salyani, M., Farooq, M., Sweeb, R., 2007. Spray depositions and mass balance in citrus orchards applications. *Trans. ASABE.* . 50, 1963-1969.
- Sanz, C., 2003. A note on k-ε modelling of vegetation canopy air-flows. *Bound.-Layer Meteor.* 108, 191-197.