



## El difusor del ventilador y el flujo de aire de un pulverizador agrícola

## The diffuser of the fan and the airflow of an agricultural sprayer

Dr.C. Mario Ignacio Herrera Prat<sup>I</sup>, Dr.C. Armando Eloy García de la Figal Costales<sup>II</sup>, M.Sc. Héctor de las Cuevas Milán<sup>II</sup>, D.S. Mauri Martins Teixeira<sup>III</sup>

<sup>I</sup> Ministerio de Educación Superior (MES), Plaza, La Habana, Cuba.

<sup>II</sup> Universidad Agraria de La Habana (UNAH), San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

<sup>III</sup> Universidade Federal de Viçosa (UFV), MG., Brasil.

**RESUMEN.** El flujo de aire del pulverizador agrícola es una de las causas de la pérdida por deriva en los equipos para el control de plagas, en los estudios se busca lograr la mayor eficacia en el flujo de aire y así disminuir la contaminación del medio ambiente. En la formación del flujo de aire intervienen los parámetros geométricos y cinemáticos del ventilador, los cuales modifican la aerodinámica del mismo. El ancho del difusor a la salida del ventilador es un parámetro de diseño importante en la aerodinámica del flujo, ya que decide directamente en la formación de este y su alcance. En el trabajo se analizará mediante el uso de la simulación por computadora (CFD), el efecto de la variación del ancho del difusor de salida del ventilador en la aerodinámica del flujo de aire durante el proceso de trabajo a distintas velocidades de movimiento del pulverizador. Se realizaron evaluaciones de anchos de salida en el difusor del ventilador de 115 y 150 mm, considerando el pulverizador sin movimiento y velocidades de trabajo de 2,18; 4,5 y 6,35 km/h, como variables respuestas se analizará la desviación y alcance del flujo de aire a través de la interpretación de los gráficos de velocidad. Se llegó a conclusiones acerca de la influencia del ancho de salida del difusor en la aerodinámica del flujo de aire y el valor más racional de este, así como los parámetros de explotación del pulverizador.

**Palabras clave:** pulverizador, flujo de aire, modelación.

**ABSTRACT.** The airflow of agricultural sprayer is one of the causes of loss drift in equipment for pest control in studies seeks to achieve greater efficiency in the airflow and thus reduce environmental pollution. In forming the air flow involved geometric and kinematic parameters of the fan, which modify the aerodynamics thereof. The width of the diffuser to the fan outlet is an important parameter in the design flow aerodynamics, as it decides directly in the formation of this and scope. The paper analyzed using computer simulation (CFD), the effect of varying the width of the diffuser in the fan exhaust air flow aerodynamics during work at different speeds of movement of the sprayer. Output widths assessments were carried out in the diffuser fan 115 and 150 mm, considering the sprayer without movement and speeds of 2,18; 4,5 and 6,35 km / h, as the response variables and scope deviation airflow through the interpretation of the analyzed speed graphics. He reached conclusions about the influence of the width of output aerodynamic diffuser airflow and the most rational of this value and operating parameters of the sprayer.

**Keywords:** sprayer, air flow, modeling.

### INTRODUCCIÓN

Las pérdidas por deriva en la pulverización es una consecuencia directa de la fumigación agrícola con medios mecanizados. Teniendo en cuenta los impactos agronómicos y ambientales de este fenómeno, la deriva ha sido ampliamente estudiada. La mayoría de los trabajos relacionan la deriva con factores como el tamaño y velocidad de las gotas, y las características fisicoquímicas del plaguicida. Otro factor estudiado es la

aerodinámica de la corriente de aire que utiliza el pulverizador para trasladar la gota hacia el árbol, aquí se debe tener en cuenta que la misma es modificada por la velocidad de traslación del pulverizador en el proceso de trabajo y las condiciones del aire ambiental en que se realiza la fumigación. La aerodinámica del flujo de aire del pulverizador la deciden los parámetros geométricos y cinemáticos del ventilador que la produce. Es-

tudios realizados por Herrera *et al.* (2004), demuestran que los parámetros geométricos y cinemáticos del ventilador influyen en la aerodinámica del flujo de aire; el ancho de salida del difusor, la velocidad del aire, la uniformidad de la velocidad del aire a la salida y el caudal. En la geometría del difusor del aire, el ancho de salida es el que más influye en la aerodinámica del flujo, y trabajos de Herrera *et al.* (2004), han relacionado este con la calidad de la aspersión los resultados eran favorables a los mayores anchos en la salida del difusor. Los estudios de la aerodinámica del flujo de aire de pulverizadores de aire se han realizado fundamentalmente en túneles de viento y en los últimos años el análisis numérico por medio de la dinámica de fluidos computacional (CFD) es un camino viable para establecer parámetros de las características de diseño y ajustes operativos en el pulverizador y mantener la contaminación del medio ambiente hasta un límite tolerable, complementando con esto ensayos experimentales de campo de Walklate *et al.* (1996); Xu *et al.* (1998); Herrera *et al.* (2004) y Delele *et al.* (2007). Estudios más recientes en CFD con resultados validados de una manera controlada fueron realizados por (Tsay *et al.* 2004; Han *et al.* 2014; Herrera *et al.*, 2014). En este trabajo se analizará mediante el uso de la simulación por computadora (CFD), el efecto de la variación del ancho del difusor de salida del ventilador en la aerodinámica del flujo de aire durante el proceso de trabajo a distintas velocidades de movimiento del pulverizador y como variables respuestas se analizará la desviación y alcance del flujo de aire a través de la interpretación de los gráficos de velocidad. Se llegó a conclusiones acerca de la influencia del ancho de salida del difusor en la aerodinámica del flujo de aire y el valor más racional de este, así como los parámetros de explotación del pulverizador.

## MÉTODOS

El modelo para el estudio se realizará basado en los parámetros del ventilador del pulverizador integral modelo SS800 de la TEYME, el cual posee un ventilador axial con salida radial modelo "VL-765" de 750 mm de diámetro y ancho del difusor de salida de 115 a 135 mm de ancho, ya tratado en trabajos anteriores en análisis numérico por medio de la dinámica de fluidos computacional (CFD) (Herrera *et al.* 2014), se utilizará como base el dominio computacional empleado en este trabajo. Se evaluarán anchos de salida en el difusor del ventilador de 115 y 150 mm, considerando el pulverizador sin movimiento y velocidades de trabajo de 2,18; 4,5 y 6,35 km/h, como variables respuestas se analizará la desviación y alcance del flujo de aire a través de la interpretación de los gráficos de distribución de velocidad. Ahora al variar el ancho de salida del difusor se disminuirá la velocidad del aire a la salida del ventilador para mantener el caudal de aire constante y analizar los resultados en estas condiciones. En la Figura 1 se muestra el ventilador utilizado como referencia para la modelación y en esta se señala el ancho del difusor, dimensión objeto de estudio en el trabajo.

En la Tabla 1 se muestran los valores de velocidad del aire a la salida del ventilador en el caso del difusor de ancho 115 mm, medidos en cuatro puntos los datos fueron tomados del trabajo de Herrera *et al.* (2013).

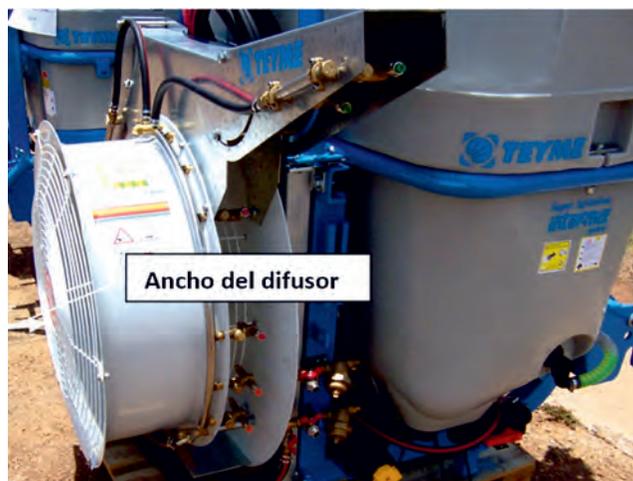


FIGURA 1. Pulverizador utilizado como maqueta experimental. Dimensión del difusor.

TABLA 1. Distribución de velocidades del aire seleccionadas para un ancho de difusor de 115 mm

Posición	a	b	c	d
Velocidad del aire en m s <sup>-1</sup>	3,5	37,45	41,03	3,45

En la Tabla 2 se muestran los valores de velocidad a la salida para un difusor de un ancho de 150 mm, como se observan son valores menores, calculados para obtener un caudal de aire similar en la simulación y así poder comparar el efecto del ancho del difusor en la aerodinámica del flujo de aire.

TABLA 2. Distribución de velocidades del aire seleccionadas para un ancho de difusor de 150 mm

Posición	a	b	c	d
Velocidad del aire en m s <sup>-1</sup>	26	29	32	29

El análisis de modelación computacional se realizó empleando el programa ANSYS 5.3, este basa su análisis numérico en la solución de las ecuaciones de momento y de continuidad que se aplican en la dinámica del flujo de aire. El dominio computacional donde se mueve el fluido para la modelación en CFD se tomó el diseñado en el trabajo de Herrera *et al.* (2014), en este elemento se realiza el enmallado que define los nodos para el desarrollo de las ecuaciones de Navier-Stokes, el dominio alcanza una longitud de hasta 2,4 m de distancia desde el origen del flujo. En la modelación las propiedades del aire como fluido fueron densidad de 1,187 kg/m<sup>3</sup> y viscosidad de 1,8135 x 10<sup>-5</sup> kg/m<sup>-5</sup>.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En los resultados se analizarán los gráficos de flujo obtenidos en la modelación por CFD para los tres regímenes de velocidad de traslación en estudio, en cada caso se comparan los dos anchos de salida del difusor manteniendo el caudal de aire del ventilador similar, por lo que en el caso del difusor de 150 mm las velocidades del aire a la salida serán menores, cada gráfico tiene la escala de velocidad en función de los colores en el desarrollo del flujo.

En la Figura 2 se muestra el flujo de aire del pulverizador para los anchos de salida del difusor 115 y 150 mm simulando al pulverizador sin movimiento o sea se representa el flujo en aire tranquilo. En el flujo se definen las distintas regiones de la corriente descritas por Abramovich (1963) para los flujos libre turbulento en ambos casos, un núcleo central de máxima velocidad que se desgasta a medida que se aleja del origen de la corriente (color rojo), a este le acompañan valores de velocidad menores que a medida que aumenta la distancia a la salida disminuyen tanto al centro como hacia los laterales como lo describió

Schliting (1972), hasta llegar a cero a 2,4 m distancia de la salida. En el análisis comparativo del difusor de ancho de 115 mm con el de 150 mm, se tiene que el núcleo central en el caso del primero con una velocidad de 41 m/s a la salida termina a 0,4 m de distancia del origen, en el caso de la de 150 mm a pesar de tener una menor velocidad de salida (32m/s) logra llegar a 0,6 m del origen; esto sucede de forma similar con la velocidad en las zonas transitorias del flujo, resumiendo, a la mayor dimensión del ancho del difusor en el núcleo de máxima velocidad se produce un menor desgaste en el desarrollo del flujo de aire.

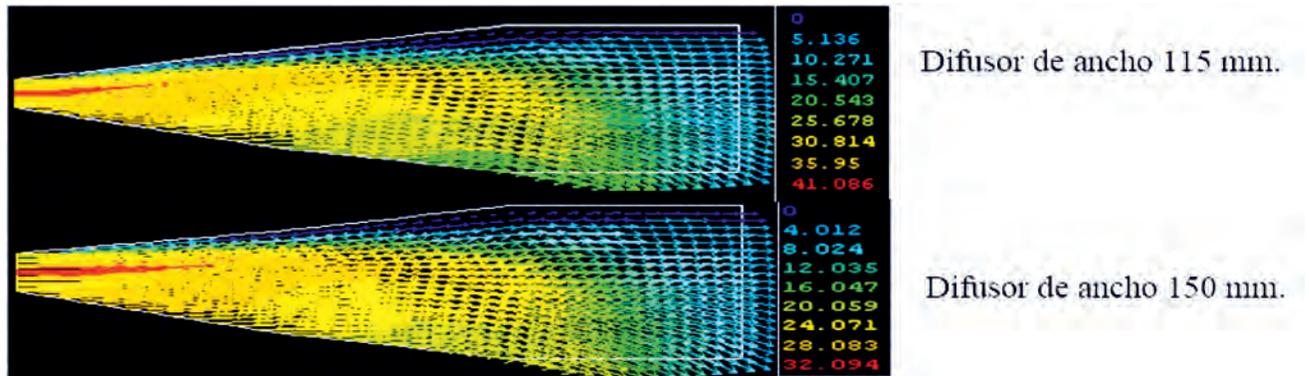


FIGURA 2. Simulación del flujo de aire considerando el pulverizador sin movimiento para anchos del difusor de 115 y 150 mm.

En la Figura 3 se muestran los resultados de la corriente de aire para difusores de ancho de 115 y 150 mm, en este caso en la simulación se considera que el pulverizador se mueve a una velocidad de 2,18 km/h en su proceso de trabajo, por lo que el flujo de aire se ve sometido a la acción perpendicular de esta velocidad. Como se observa en la figura, en el caso del difusor de ancho 115 mm, el núcleo central del flujo representado con color rojo con velocidad de 41 m/s, se mantiene en el centro de flujo y desaparece a los 0,5 m de distancia del origen, en el difusor de 150 mm, el núcleo central alcanza los 0,9 m de longitud a velocidades de 32 m/s producto de un menor desgaste del núcleo central. La zona transitoria del flujo de aire para ambos difusores presenta una desviación con respecto a la línea central del flujo y en dirección contraria al movimiento del pulverizador.

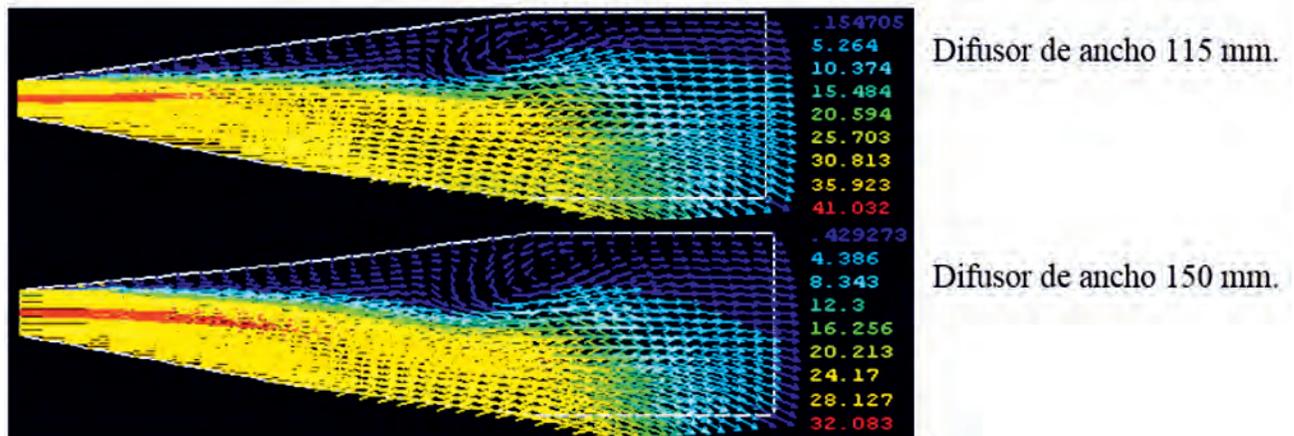


FIGURA 3. Simulación del flujo de aire con velocidad de traslación del pulverizador de 2.18 km/h para anchos del difusor de 115 y 150 mm.

En la Figura 4 se presentan los flujos de aire para difusores de ancho de 115 y 150 mm, pero en este caso se simula con una mayor velocidad de traslación del pulverizador a 4,5 km/h, por lo que el flujo de aire se ve sometido a una mayor acción de la velocidad de traslación del pulverizador. En la simulación del flujo de aire para un difusor de ancho de 115 mm la velocidad del núcleo central es de 41 m/s y este llega alcanzar una longitud de 0,75 mm y a los 0,5 m ya presenta

desviación con respecto al eje central del flujo en contra de la dirección de movimiento del pulverizador. Para el difusor de ancho 150 mm, la velocidad del núcleo central es de 32 m/s y este alcanza una longitud de 1,10 m desviándose del eje central a la distancia de 0,5 m. El difusor de 150 mm a pesar de tener menor velocidad el desgaste del núcleo central es menor que el de 115 mm, alcanzando el primero un 50% mayor de alcance en el flujo.

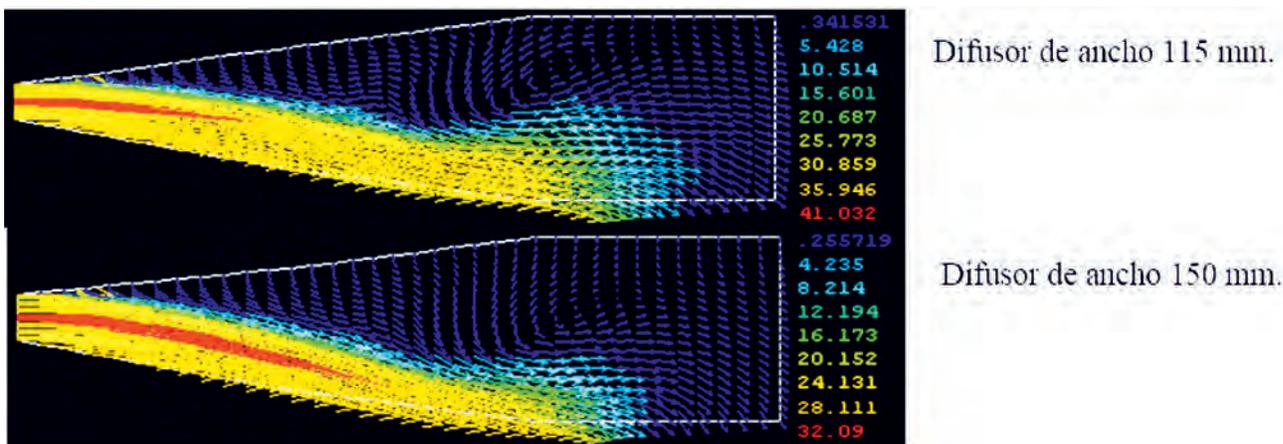


FIGURA 4. Simulación del flujo de aire con velocidad de traslación del pulverizador de 4.5 km/h para anchos del difusor de 115 y 150 mm.

En la Figura 5 similar a los casos anteriores se representan la simulación de los flujos de aire para difusores de ancho de 115 y 150 mm, en este caso se simula con una mayor velocidad del pulverizador en el proceso de trabajo, a 6,35 km/h velocidad está máxima para el trabajo eficiente con estos equipos, aunque en ocasiones en determinadas condiciones son utilizadas. El flujo de aire se ve sometido a una mayor acción de la velocidad de traslación del pulverizador y por consiguiente a una desviación del flujo en contra del movimiento del equipo que resulta inevitable, ya que lograr una corriente donde no se produzca esta deflexión conllevaría a un aumento de velocidad a la salida del ventilador que puede traer otras consecuencias, como daños al cultivo, que se produzca el efecto pantalla en el follaje no dejando penetrar el líquido plaguicida al interior del árbol o que la alta velocidad al transportar la gota alcance valores de energía cinética tal que no le permita depositarse en el follaje.

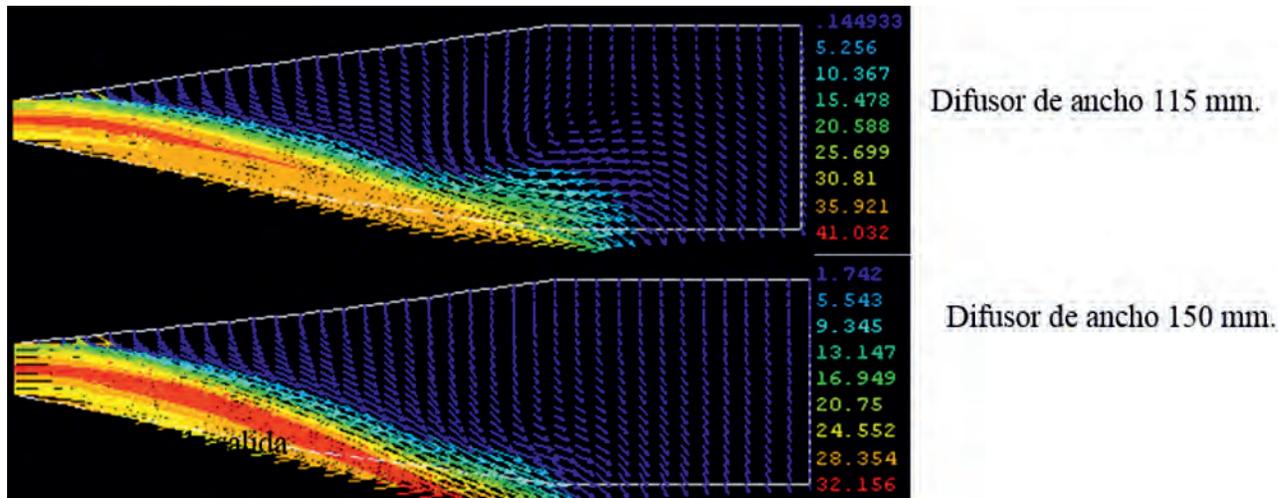


FIGURA 5. Simulación del flujo de aire con velocidad de traslación del pulverizador de 6.35 km/h para anchos del difusor de 115 y 150 mm.

En la Figura 5 para un ancho de difusor del ventilador de 115 mm, el núcleo del flujo de aire se mantiene sobre el eje central de la corriente hasta la distancia de 0,35 m a partir de aquí y hasta 0,95 m que el núcleo desaparece, este se desvía del eje y se separa limitando el alcance del flujo a 2 m de distancia del ventilador con velocidades del aire de 10 m/s. En el gráfico correspondiente al difusor de ancho 150 mm, la velocidad del aire en el núcleo del flujo es de 32 m/s, en este caso la distancia de la fase de desgaste del núcleo de la corriente llega hasta 1,8 m, el núcleo se mantiene hasta el final del flujo, aunque el curso del flujo es similar al de 115 mm el núcleo se desgasta menos y logra alcanzar al final de esta 32 m/s.

En general utilizando la misma energía en el flujo, pero utilizando diferentes velocidades de aire a la salida, el comportamiento del flujo desde el punto de vista de la aerodinámica en

alcance y estructura es favorable a la menor velocidad de salida del aire, que corresponde con el mayor ancho del difusor del ventilador, resultados que corroboran esto los describió Randall (1971), cuando determino mejores resultados en el cubrimiento del árbol para mayor caudal de aire y menor velocidad del aire a la salida.

### CONCLUSIONES

- En todos los casos de la modelación del flujo de aire presentados en los gráficos, se cumplen los preceptos de la teoría del chorro plano libre, una corriente de aire libre turbulenta inundada en aire en reposo o en movimiento descrita por Abramovich (1963).
- En general para las tres velocidades de aire modeladas, el

núcleo del flujo de aire para el difusor de 150 mm se desgasta menos a medida que se aleja del origen de la corriente, a pesar de tener menor velocidad en el origen (32 m/s) que el ancho de difusor de 115 mm (41 m/s), estos resultados pueden ser utilizados en lograr una disminución en el consumo de energía del ventilador teniéndolo en cuenta en su regulación.

- El denominado núcleo de la corriente tiene mayores dimensiones en cuanto a longitud y el ancho, para la variante del mayor ancho del difusor y menor velocidad de salida del aire del ventilador, esto garantiza un flujo de aire más estable y con menor desgaste a medida que se aleja de la salida.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAMOVICH, G.N.: *The Theory of Turbulent jets*, pp. 1-671, Fitzmatgiz, 1960, English translation, edited by L. H. Schindel. M.I.T. Press, USA, 1963.
- BRAZEE, R. D.; FOX, DI PRINZIO, A.; BEHMER, S.; GIULIETTI, L.; MAGDALENA, J.C.: *Pérdidas provocadas por pulverizadores hidroneumáticos en fruticultura*, 115pp., Memorias de Ingeniería Rural y Mecanización Agraria en el Ámbito Latinoamericano, Editorial Board, La Plata, Argentina, 1998.
- CROSS, J.V., WALKLATE, P.J., MURRAY, R.A., RICHARDSON, G.M.: "Spray deposits and losses in different sized apple trees from an axial fan orchard sprayer: 1. Effects of spray liquid flow rate", *Crop Protection*, ISSN: 0261-2194, 20(1), 13-30. 2001.
- DELELE, M.A., DE MOOR, A., SONCK, B., RAMON, H., NICOLAÏ, B.M., VERBOVEN, P.: "Modelling and validation of the air flow generated by a cross flow air sprayer as affected by travel speed and fan speed", *Biosystems Engineering*, ISSN: 1537-5110, 92(2), 165-174. 2005.
- ENDALEW, A.M.; DEBAER, C.; RUTTEN, N.; VERCAMMEN, J.; DELELE, M.A.; RAMON, H.; NICOLAÏ, B.M.; VERBOVEN, P.: "A new integrated CFD modelling approach towards air-assisted orchard spraying". Part I. Model development and effect of wind speed and direction on sprayer airflow", [on line] *Computers and Electronics in Agriculture*, ISSN-0168-1699, DOI-10.1016/j.compag.2009.11.005, 71 (2): 128-136, May. 2010.
- FOQUÉ, D.; PIETERS, J.G.; NUYTENS, D.: "Spray deposition and distribution in a bay laurel crop as affected by nozzle type, air assistance and spray direction when using vertical spray booms", [on line] *Crop Protection*, ISSN: 0261-2194, DOI-10.1016/j.cropro.2012.05.020, 41: 77-87, November of 2012.
- HAN, F.; WANG, D.; JIANG, J.; ZHU, X.: "Modeling the influence of forced ventilation on the dispersion of droplets ejected from road header-mounted external sprayer", [on line] *International Journal of Mining Science and Technology*, ISSN: 2095-2686, DOI-10.1016/j.ijmst.2013.12.022, 24(1): 129-135, Jan. 2014.
- HERRERA, M.I.; H. DE LAS CUEVAS MILÁN; V. MENESES; G. RODRIGUES: "Efecto de los parámetros del ventilador de las asperjadoras en la calidad de trabajo", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, ISSN: 1010-2760, E-ISSN: 2071-0054, 13(4): 21-25, 2004.
- HERRERA, M.I.; A. GARCÍA DE LA FIGAL; H. DE LAS CUEVAS MILÁN: "Análisis de la aerodinámica del ventilador del pulverizador ASS-800 empleado en frutales", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, ISSN: 1010-2760, E-ISSN: 2071-0054, 22 (4): 15-19, 2013.
- HERRERA, M.I.; A. GARCÍA DE LA FIGAL; H. DE LAS CUEVAS MILÁN; M. TEXEIRA: "Evaluación mediante la Dinámica de los Fluidos por Computadora (CFD) de la corriente de aire del pulverizador agrícola ASS-800", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, ISSN: 1010-2760, E-ISSN: 2071-0054, 23(2): 5-10, mayo de 2014.
- HERRERA, M.I.; M. M. TEXEIRA; G. J. RODRÍGUEZ; H. DE LAS CUEVAS: "Modelación mediante la dinámica de fluidos computacional de la corriente de aire de un pulverizador", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, ISSN: 1010-2760, E-ISSN: 2071-0054, 15 (1): 17-18, 2006.
- RANDALL, J.M.: "The relationships between air volume and pressure on spray distribution in fruit trees", [on line] *Journal of Agricultural Engineering Research*, ISSN: 0021-8634, DOI-10.1016/S0021-8634 (71)80002-1, 16(1): 1-31, Mar. 1971.
- SCHLITING, H.: *Teoría de la capa limite*, 68pp., Versión en español de la 5ta Edición. Ed. Mc Graw-Hill, 1972.
- TSAY J R; L-S LIANG AND L-H LU: "Evaluation of an Air-Assisted Boom Spraying System under a No-Canopy Condition Using CFD Simulation", *Transactions of the ASAE*, ISSN: 0001-2351, 47(6): 2004.
- WALKLATE, P.J.: "A simulation study of pesticide drifts from an air-assisted orchard sprayer", [on line] *Journal of Agricultural Engineering Research*, ISSN-0021-8634, DOI-10.1016/0021-8634 (92)80042-Q, 51: 263-283, Jan. 1992.
- WALKLATE, P.J., WEINER, K.L., PARKIN, C.S.: "Analysis of and experimental measurements made on a moving air-assisted sprayer with two-dimensional air-jets penetrating a uniform crop canopy", *Journal of Agricultural Engineering Research*, ISSN: 0021-8634, 63(4), 365-377. 1996.

**Recibido:** 20/12/2014.

**Aprobado:** 09/10/2015.

**Publicado:** 13/01/2016.

Mario Ignacio Herrera Prat, Prof. Titular, Ministerio de Educación Superior (MES), Plaza de la Revolución, La Habana, Cuba. Correo electrónico: [herrera@mes.gob.cu](mailto:herrera@mes.gob.cu)

Armando Eloy García de la Figal Costales, Correo electrónico: [areloy@unah.edu.cu](mailto:areloy@unah.edu.cu)

Héctor de las Cuevas Milán, Correo electrónico: [hector@unah.edu.cu](mailto:hector@unah.edu.cu)

Mauri Martins Teixeira, Correo electrónico: [mauri@ufv.br](mailto:mauri@ufv.br)

Nota: La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor.