



The air speed in the fan and the flow in an agricultural sprayer

La velocidad del aire en el ventilador y el flujo en un pulverizador agrícola

Dr.C. Mario Ignacio Herrera-Prat^I, Dr.C. Armando Eloy García de la Figal-Costales^{II},
M.Sc. Héctor de las Cuevas-Milán^{II}, D.S. Mauri Martins-Teixeira^{III}

^I Ministerio de Educación Superior (MES), Vedado, Plaza, La Habana, Cuba.

^{II} Universidad Agraria de La Habana (UNAH), San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

^{III} Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, MG, Brasil.

ABSTRACT. The magnitude of air velocity at the fan outlet of agricultural sprayers influences the aerodynamic airflow and is a key factor in the flow structure. The effect of varying the fan output speed in aerodynamic airflow during work at different speeds of movement of the sprayer, using computer simulation (CFD) is analyzed in this work. Simulations of output speeds were conducted in the diffuser fan of 40, 45 and 50 m/s with a fan output width of 115 mm and considering the sprayer without motion and working speeds of 2.18, 4.5 and 6.35 km / h. The aerodynamic behavior of the airflow for each variant was analyzed. The increase in the fan output speed produces an accelerated wear on the core of the current; therefore the use of lower speeds enhances aerodynamic flow.

Keywords: Computer simulation (CFD), air flow modeling, aerodynamic flow.

RESUMEN. La magnitud de la velocidad del aire a la salida del ventilador de los pulverizadores agrícolas influye en la aerodinámica del flujo de aire y constituye un factor fundamental en la estructura del flujo. En el trabajo se analiza mediante el uso de la simulación por computadora (CFD), el efecto de la variación de la velocidad 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 simulaciones de velocidades de salida en el difusor de ventilador de 40, 45 y 50 m/s con un ancho de salida del ventilador de 115 mm y considerando el pulverizador sin movimiento y a velocidades de trabajo de 2,18, 4,5 y 6,35 km/h, se analizó el comportamiento de la aerodinámica del flujo de aire para cada variante. El aumento de la velocidad de salida en el ventilador produce un desgaste acelerado en el núcleo de la corriente, por lo que la utilización de velocidades menores favorece la aerodinámica del flujo.

Palabras clave: simulación por computadora (CFD), modelación de flujo de aire, aerodinámica del flujo.

INTRODUCCIÓN

La aerodinámica del flujo de aire de los ventiladores en los pulverizadores agrícolas es una de las causas fundamentales de la deriva. La deriva en la fumigación agrícola produce impactos negativos agronómicos y ambientales provocando grandes pérdidas en los cultivos y daño a la salud, ha sido considerado uno de los problemas más relevantes asociados a la utilización de productos fitosanitarios (Brazee *et al.*, 1998). La magnitud de la velocidad del aire del ventilador es uno de los parámetros que decide en el traslado de la gota de plaguicida hacia el árbol, debido a que influye en su velocidad, dirección y tamaño de la misma, así lo

INTRODUCTION

Aerodynamic air flow fans in agricultural sprayers is one of the root causes of drift. A drift in agricultural spraying produces agronomic and environmental negative impacts causing major crop losses and damage to health. It has been considered one of the most important problems associated with the use of plant protection products (Brazee *et al.*, 1998). The magnitude of fan air velocity is one of the parameters that decides on the pesticide drop transfer to the tree because it influences on its speed, direction and size,

corroborar Delele *et al.* (2005), cuando expresa que la velocidad del aire generada por los pulverizadores asistidos por corriente de aire determina el destino de las gotas de pesticida. Por otro lado trabajos de Herrera *et al.* (2004), han relacionado los parámetros del ventilador con la calidad de la aspersión, por lo que el conocimiento de estos permitirán una explotación adecuada del pulverizador. Los investigadores en los últimos años han desarrollado modelos en la dinámica de fluidos computacional (CFD), buscando una manera de resolver este problema con más agilidad y menos recursos para la experimentación (Walklate, 1992). Estos modelos se basan fundamentalmente en resolver numéricamente la Ecuaciones de flujo de Navier-Stokes. El trabajo con CFD se ha complementando con ensayos experimentales de campo de Walklate *et al.* (1996), Herrera *et al.* (2004, 2006), Delele *et al.* (2005). Estudios más recientes en CFD con resultados validados de una manera controlada fueron realizados por Cross *et al.* (2001), Tsay *et al.* (2004), Endalew *et al.* (2010), Foqué *et al.* (2012), y Han *et al.* (2014). En este trabajo se analizará mediante el uso de la simulación por computadora (CFD), el efecto de la variación de la velocidad del aire a la 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 resultados de la modelación. Se llega a conclusiones acerca de la relación de la velocidad de salida del aire en la aerodinámica del flujo de aire y su influencia en el desempeño del pulverizador.

MÉTODOS

El modelo para el estudio está 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 con 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 velocidades de salida del ventilador de 40, 45 y 50 m/s, manteniendo el ancho de salida del difusor del ventilador a 115 mm y considerando el pulverizador sin movimiento y a velocidades de traslación en el 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. En la Figura 1 se muestra el ventilador utilizado como referencia para la modelación.

En la Tabla 1 se muestran los valores de velocidad de movimiento del pulverizador y del aire a la salida del ventilador para las variantes estudiadas.

TABLE 1. Variants to simulate
TABLA 1. Variantes a simular

Speed spraying; km/h	Estática	2.18	4.5	6.35
Air velocity at the fan outlet; m/s	40	40	40	40
Air velocity at the fan outlet; m/s	45	45	45	45
Air velocity at the fan outlet; m/s	50	50	50	50

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

and that is corroborated by Delele *et al.* (2005), when they say that the air speed generated by the spray-assisted air stream, determines the fate of pesticide droplets. Furthermore, Herrera *et al.* (2004) have related fan parameters with spray quality, so knowing them allows proper operation of the sprayer. Researchers have recently developed models in computational fluid dynamics (CFD), looking for a way to solve this problem with more agility and less resources for experimentation (Walklate, 1992). These models are mainly based on solving numerically the equations of Navier-Stokes flow. CFD work has been complemented with experimental field trials by Walklate *et al.* (1996), Herrera *et al.* (2004, 2006), Delele *et al.* (2005). More recent studies with validated CFD results in a controlled manner were performed by Cross *et al.* (2001), Tsay *et al.* (2004), Endalew *et al.* (2010), Foqué *et al.* (2012), y Han *et al.* (2014). In this paper, it will be analyzed, by using computer simulation (CFD), the effect of the variation of air velocity at the fan outlet in the aerodynamic air flow during work at different speeds of the sprayer movement. Deviation and scope of airflow through the interpretation of speed graphics resulting from modeling will be analyzed as response variables. Conclusions are stated about the relationship of the output speed of air in the aerodynamic airflow and its influence on the performance of sprayer.

METHODS

The model for the study is based on SS800 model TEYME integral spray fan settings. It has an axial fan with radial model “VL-765” of 750 mm in diameter and of 115 to 135 mm in width of the outlet diffuser, which has been already referred in previous numerical analysis using computational fluid dynamics (CFD) (Herrera *et al.*, 2014). The computational domain used in this work will be utilized as a basis. Fan output speeds of 40, 45 and 50 m / s will be evaluated, while maintaining the width of the fan diffuser outlet to 115 mm, considering the sprayer without movement and work translational speeds of 2.18, 4.5 and 6.35 km / h. Deviation and scope of airflow will be analyzed as response variables, through the interpretation of the velocity distribution charts. The fan used as reference in modeling is shown in Figure 1.

Values of sprayer movement speed and of the air at the fan outlet for the variants studied are shown in Table 1.

Computational modeling analysis was performed using the ANSYS 5.3 program; it bases its numerical analysis in solving the momentum and continuity equations that apply in the dy-

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 $1,187 \text{ kg/m}^3$ y viscosidad de $1,8135 \times 10^{-5} \text{ kg}\cdot\text{m}^{-5}$.

namics of airflow. The computational domain where the fluid for modeling in CFD moves, was taken from the one designed by (Herrera *et al.*, 2014). In this element, meshing defining nodes for the development of the Navier-Stokes equations is performed; the domain reaches a length of up to 2.4 m away from the source of the flow. In modeling, the properties of air as fluid were density of $1.187 \text{ kg} / \text{m}^3$ and viscosity of $1.8135 \times 10^{-5} \text{ kg} \times \text{m}^{-5}$.



FIGURE 1. Sprayer used as experimental model.

FIGURA 1. Pulverizador utilizado como maqueta experimental.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En los resultados se analizan los gráficos de flujo obtenidos en la modelación por CFD para las tres velocidades de salida del aire estudiadas, representadas en figuras con el pulverizador sin movimiento y los tres regímenes de velocidad de traslación seleccionados, en cada gráfico se presentan la escala de velocidad en función de los colores en el desarrollo del flujo.

En general para todas las variantes simuladas de velocidad de salida y de traslación del pulverizador en los gráficos del flujo, se definen las distintas regiones de la corriente descritas por Abramovich (1963), para los flujos libre turbulento, formada 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 zonas de transición con valores de velocidad menores que a medida que aumenta la distancia a la salida disminuyen y de la línea central del flujo hacia los laterales como lo describió Schlichting (1972).

En la Figura 2 se muestra la simulación de los flujos de aire del pulverizador para las velocidades de salida evaluadas con el pulverizador sin movimiento, o sea se representa el flujo en aire tranquilo. Se observa que el flujo modelado posee la misma estructura para los tres valores de velocidad de salida del aire del ventilador, un núcleo central que posee la misma trayectoria y alcance en los tres casos y desaparece a los 0,4 m de la salida del ventilador, a pesar de velocidades iniciales diferentes. Analizando la velocidad a los 2,4 m de distancia de salida del ventilador, se tiene que en esta zona del flujo son de 10,3, 11,5 y 12,8 m/s para velocidades iniciales de 40, 45 y 50 m/s respectivamente, una diferencia de 5 m/s inicial disminuye a 1 m/s a esta distancia. Esto se debe a que mayor velocidad existen mayores pérdidas internas en el flujo.

RESULTS AND DISCUSSIONS

Flowcharts obtained in modeling by CFD for the three-speed air outlet studied, represented in figures with the sprayer without movement and the three regimes of translation speed selected are analyzed. In each graph, the scale of speed is presented depending on the colors in the flow development.

In general, for all simulated variants of output and sprayer translation speed in the graphs of flow, the different regions of the stream described by Abramovich (1963) for free flow turbulent are defined. A central core of maximum speed wears as it is away from the source of stream (red), it is accompanied by transition zones with lower speed values that decrease as the distance to the output increases and from the center line of flow to the side as it is described by Schlichting (1972).

Figure 2 shows simulating airflows of the sprayer for output speeds evaluated with the sprayer without movement, that is, flow is shown in calm air. It is noted that the modeling flow has the same structure for the three values of fan air output speed, a central core having the same path and scope in all three cases and disappears at 0.4 m from the fan outlet, in spite of different initial speeds. Analyzing the speed at 2.4 m away from the fan outlet, in this area of flow values were 10.3, 11.5 and 12.8 m/s for initial speeds of 40, 45 and 50 m/s, respectively. Initial speed decreases from 5 m/s to 1 m/s, at that distance. It is because there are higher internal speeds losses in the flow at higher speeds.

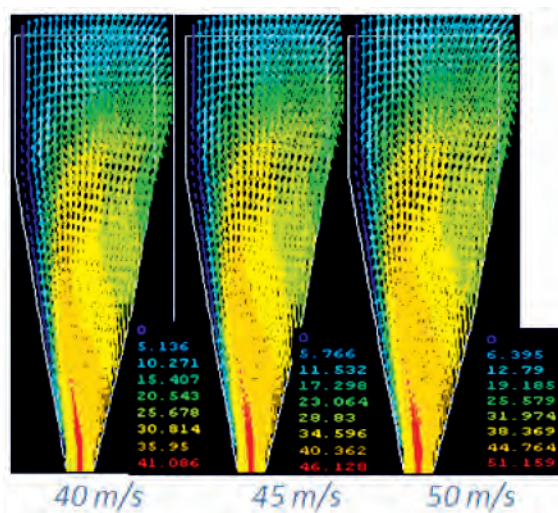


FIGURE 2. Simulation of airflow considering the sprayer without motion for fan output speeds of 40, 45 and 50 m/s.

FIGURA 2. Simulación del flujo de aire considerando el pulverizador sin movimiento para velocidades de salida del ventilador de 40, 45 y 50 m/s.

En la Figura 3 se muestran los resultados de la corriente de aire para velocidades del aire a la salida del ventilador de 40, 45 y 50 m/s, 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 3, el núcleo central del flujo representado con color rojo desaparece a los 0.5 m de distancia del origen, en este caso el núcleo posee mayor tamaño que cuando el pulverizador se encontraba estático, la componente de la velocidad producto del movimiento de traslación de 0,6 m/s perpendicular al flujo produce un alargamiento del núcleo. En la zona transitoria del flujo de aire para las tres velocidades estudiadas la línea de máxima velocidad presenta una desviación de 0,15 m con respecto al eje geométrico del dominio computacional y en dirección contraria al movimiento del pulverizador. A la distancia de 2,4 m de la salida la diferencia entre las velocidades en el flujo de aire son menores a 1 m/s para las variantes de velocidad, si se tiene en cuenta que al inicio la diferencia es de 5 m/s, lo que demuestra mayores pérdidas en el flujo con mayores velocidades al inicio.

The results of the air stream for air speeds at the fan outlet of 40, 45 and 50 m/s are shown in Figure 3. In this case, in the simulation, it is considered that the sprayer is moved at a speed of 2.18 km/h in its working process, so the air flow is subjected to the perpendicular action of this speed.

As it is shown in the figure, the core of the flow represented in red disappears at 0.5 m from the origin. In this case, the core is larger than when the sprayer was static, the component of the speed, product of the translational movement of 0.6 m/s, perpendicular to the flow, produces an elongation of the core. In the transitional zone of the airflow for the three speeds studied, the maximum speed line presents a deviation of 0.15 m with respect to the geometrical axis of the computational domain and in an opposite direction to the sprayer movement. At the distance of 2.4 meters from the outlet, the difference between the speeds in the airflow are less than 1 m/s for speed variants, taking into account that at the beginning the difference is of 5 m/s, which shows greater losses in the flow with higher speeds at startup.

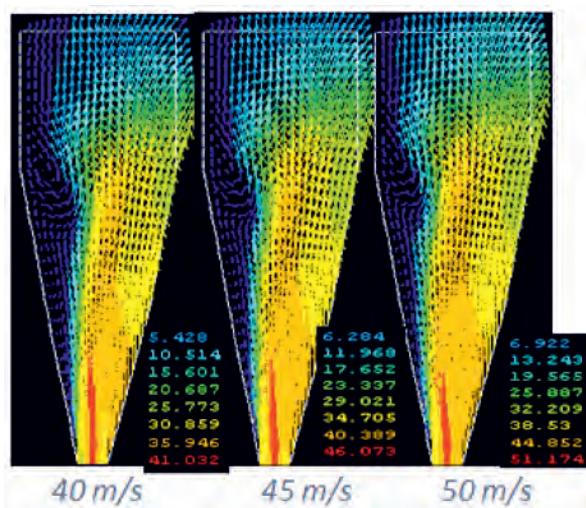


FIGURE 3. Simulation of airflow with translation speed of the sprayer of 2.18 km/h for fan outlet speeds of 40, 45 and 50 m/s

FIGURA 3. Simulación del flujo de aire con velocidad de traslación del pulverizador de 2,18 km/h para velocidades de salida del ventilador de 40, 45 y 50 m/s.

En la Figura 4 se simulan los flujos de aire para velocidades a la salida del ventilador de 40, 45 y 50 m/s, pero en este caso con una mayor velocidad de traslación del pulverizador a 4,5 km/h. El flujo de aire estará sometido a una mayor acción de la velocidad de traslación del pulverizador.

En la Figura se observa que el núcleo central del flujo llega alcanzar una longitud de 0,7 m para la velocidad de salida de 40 m/s, 0,75 m para la velocidad de 45 m/s y de 0,80 mm para la velocidad de salida de 50 m/s, aquí se establece una diferencia en el alcance del núcleo central. En los tres casos a los 0,5 m de distancia a la salida ya presenta desviación de 0,20 m con respecto al eje geométrico del dominio computacional en contra de la dirección de movimiento del pulverizador. En la zona transitoria de la corriente, la desviación del eje central es de 0,5 m para los tres casos estudiados. Analizando el alcance de la corriente, se tiene que para la velocidad de salida de 40 m/s la velocidad de 5,4 m/s en la corriente se alcanza a la distancia de 2 m de la salida, para la velocidad inicial de 45 m/s se logra a 2,2 m y para 50 m/s a los 2,4 m. Estos resultados demuestran que la componente de velocidad de traslación de 4,5 km/h (1,25 m/s) produce un mayor efecto en el alcance de la corriente en las variantes con velocidad de salida de 40 y 45 m/s.

In Figure 4, airflows for speeds at the fan outlet of 40, 45 and 50 m/s, are simulated, but in this case with a higher translational speed of the sprayer at 4.5 km/h. The airflow is subject to greater action of the translational speed of the sprayer.

The figure shows that the core of the flow reaches a length of 0.7 m for the output speed of 40 m/s, 0.75 m for the speed of 45 m/s and 0.80 mm for the outlet speed of 50 m/s, a distinction is made here within the scope of the central core. In all three cases, at 0.5 m away, at the outlet there is already a deviation of 0.20 m with respect to the axis of the computational domain opposite to the sprayer's direction of movement. In the transitional area of the stream, the deviation of the central axis is 0.5 m for the three cases studied. Analyzing the scope of the stream, it is observed that for the output speed of 40 m/s, the speed of 5.4 m/s in the stream is reached at the distance of 2 m from the outlet, for the initial speed of 45 m/s it is reached at 2.2 m and for 50 m/s initial speed, at 2.4 m. These results demonstrate that the component of translation speed of 4.5 km/h (1.25 m/s) produces a greater effect on the scope of the stream in the output speed in variants with 40 and 45 m/s outlet speed.

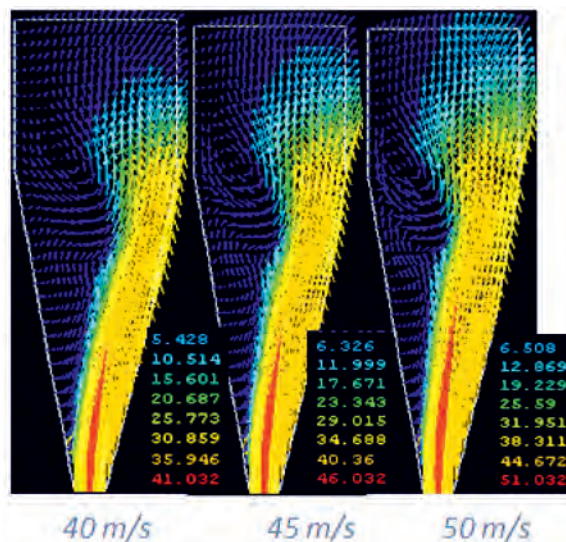


FIGURE 4. Simulation of airflow with translational speed of the sprayer of 4.5 km / h for fan outlet speeds of 40, 45 and 50 m/s
 FIGURA 4. Simulación del flujo de aire con velocidad de traslación del pulverizador de 4,5 km/h para velocidades de salida del ventilador de 40, 45 y 50 m/s.

En la Figura 5 similar a los casos anteriores se representan la simulación de los flujos para velocidades de aire a la salida de 40, 45 y 50 m/s, 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.

En la Figura 5 se observa que el núcleo del flujo de aire se mantiene sobre el eje central del dominio hasta la distancia de 0,35 m a partir de aquí y hasta 0,95 m que el núcleo desaparece presenta similar desviación para los tres casos estudiados. El alcance del flujo con respecto a la salida para velocidades de 6 m/s, en el caso de la velocidad de salida de 40 m/s la misma se alcanza a 1,8 m, para 45 m/s se logra a 2 m y para 50 m/s se obtiene a una distancia de 2,2 m, o sea que a medida que aumenta la velocidad de salida el alcance de la corriente es mayor.

In Figure 5, similar to previous cases, flow simulation for air speeds at the output of 40, 45 and 50 m/s are represented. In this case, it is simulated with a higher speed of the sprayer in the working process, at 6.35 km/h, which is the maximum speed for efficient work with that equipment, but sometimes certain conditions are used.

In Figure 5, it is shown that, the core airflow is maintained on the central axis of the domain up to a distance of 0.35 m from here and up to 0.95 m that the core disappears and presents a similar variance for three cases. The scope of flow with respect to the output, for speeds of 6 m/s, in the case of the output speed of 40 m / s, it is reached at 1.8 m, for 45 m/s it is reached at 2 m and for 50 m/s it is obtained at a distance of 2.2 m. That means that as outlet speed increases, the scope of the stream is greater.

By varying the output speed in the ranges studied, in the

Con la variación de la velocidad de salida en los rangos estudiados en las variantes del pulverizador sin movimiento y a 2,18 km/h el alcance de la corriente es similar y disminuye la diferencia de velocidad al final del flujo con respecto a la inicial. Esto indica que para la velocidad de traslación de 2,18 km/h se pueden valorar utilizar velocidades de salida menores (40 km/h) por la similitud en la estructura de la corriente y atendiendo a Randall (1971), cuando determino mejores resultados en el cubrimiento del árbol para mayor caudal de aire y menor velocidad del aire a la salida.

En el caso de velocidades superiores de traslación (4,5 y 6,35 km/h), la variante de mayor alcance de la corriente coincide con la de mayor velocidad de salida, ahora una velocidad mayor en el flujo del pulverizador 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. Los resultados demuestran que al seleccionar un régimen de trabajo del pulverizador se deben tener en cuenta la velocidad de salida ventilador y la velocidad de traslación del mismo.

variants of motionless sprayer and at 2.18 km/h, the scope of the stream is similar and decreases the speed difference at the end of flow with respect to the initial. That indicates that for the translational speed of 2.18 km/h it is possible to consider using lower output speeds (40 km/h) for the similarity in the stream structure and regarding Randall (1971), when he determined better results in the tree coverage for greater airflow and lower air speed at the outlet. In the case of higher translational speeds (4.5 and 6.35 km/h), the variant of highest scope of the stream coincides with the one with highest speed output. A faster flow sprayer can bring other consequences, such as damages to the cultivation, the screen effect occurs in the foliage preventing the liquid pesticide from penetrating into the tree or a very high drop translational speed that reaches kinetic energy values such that prevent it from depositing on the foliage. The results show that, when selecting a sprayer work regime, the fan speed output and the sprayer translation speed should be taken into account.

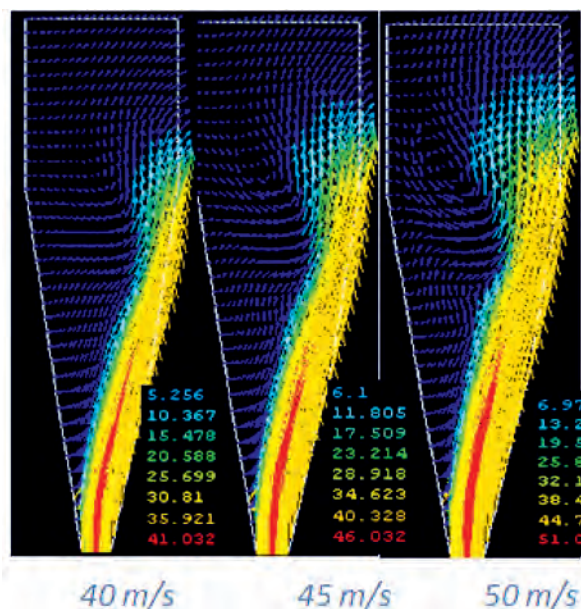


FIGURE 5. Simulation of airflow with translational speed of the sprayer of 6.35 km/h for fan outlet speeds of 40, 45 and 50 m/s.
 FIGURA 5. Simulación del flujo de aire con velocidad de traslación del pulverizador de 6,35 km/h para velocidades de salida del ventilador de 40, 45 y 50 m/s.

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).
- Con el aumento de la velocidad de salida en el ventilador se produce un desgaste acelerado en el núcleo de la corriente.
- Con la variación de la velocidad de salida en los rangos estudiados, en las variantes del pulverizador sin movimiento y a 2,18 km/h el alcance de la corriente es similar y disminuye la diferencia de velocidad al final del flujo con respecto a la inicial.
- En el caso de velocidades superiores de traslación (4,5 y 6,35 km/h), el flujo de aire con velocidad de salida superior posee mayor alcance.

CONCLUSIONS

- In all cases of airflow modeling presented in graphs, the precepts of the theory of free flat jet: a stream of turbulent free air full of motionless air or of air in motion, described by Abramovich (1963), are met.
- By varying the output speed in the ranges studied, in the variants of the motionless sprayer and at 2.18 km/h, the scope of the stream is similar and decreases the speed difference at the end of flow with respect to the initial.
- In the case of higher translational speeds (4.5 and 6.35 km/h), the airflow with higher speed output has higher scope.

REFERENCES / REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAMOVICH, G.N.: *The theory of turbulent jets*, Ed. M.I.T. Press, Cambridge, Mass., 671 p., 1963.
- BRAZEE, R.D.; DI PRINZIO, A.; BEHMER, S.; GIULIETTI, L.; MAGDALENA, J.C.: “Pérdidas provocadas por pulverizadores hidroneumáticos en fruticultura”, [en línea], En: Balbuena, R.H.; Benez, S.H. y Jorajuría, C.D. (eds.), *Ingeniería rural y mecanización agraria en el ámbito latinoamericano*, Ed. Universidad Nacional de La Plata, La Plata, Argentina, p. 115, 1998, Disponible en: <http://catalogosuba.sisbi.uba.ar/vufind/Record/201603040115332832>, [Consulta: 26 de noviembre de 2016].
- CROSS, J.; 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*, 20(1): 13-30, 2001, ISSN: 0261-2194, DOI: 10.1016/S0261-2194(00)00046-6.
- 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*, 92(2): 165-174, 2005, ISSN: 1537-5110, DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2005.05.018.
- 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”, *Computers and Electronics in Agriculture*, 71(2): 128-136, 2010, ISSN: 0168-1699, DOI: 10.1016/j.compag.2009.11.005.
- 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”, *Crop Protection*, 41: 77-87, 2012, ISSN: 0261-2194, DOI: 10.1016/j.cropro.2012.05.020.
- HAN, F.; WANG, D.; JIANG, J.; ZHU, X.: “Modeling the influence of forced ventilation on the dispersion of droplets ejected from roadheader-mounted external sprayer”, *International Journal of Mining Science and Technology*, 24(1): 129-135, 2014, ISSN: 2095-2686, DOI: 10.1016/j.ijmst.2013.12.022.
- HERRERA, P.M.I.; DE LA FIGAL GARCÍA, C.A.E.; DE LAS CUEVAS, M.H.; TEIXEIRA, M.M.: “Evaluación mediante la Dinámica de los Fluidos por Computadora (CFD) de la corriente de aire del pulverizador agrícola ASS-800”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 23(2): 5-10, 2014, ISSN: 2071-0054.
- HERRERA, P.M.I.; DE LAS CUEVAS, M.H.; MENESES, R.V.; RODRIGUES, G.J.: “Efecto de los parámetros del ventilador de las asperjadoras en la calidad del trabajo”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 13(4): 21-25, 2004, ISSN: 1010-2760.
- HERRERA, P.M.I.; TEIXEIRA, M.M.; RODRIGUES, G.J.; DE LAS CUEVAS, M.H.: “Modelación mediante la dinámica de flujo computacional de la corriente de aire de un pulverizador”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 15(1): 12-18, 2006, ISSN: 2071-0054.
- RANDALL, J.M.: “The relationships between air volume and pressure on spray distribution in fruit trees”, *Journal of Agricultural Engineering Research*, 16(1): 1-31, 1971, ISSN: 0021-8634, DOI: 10.1016/S0021-8634(71)80002-1.
- SCHLICHTING, H.: *Teoría de la capa límite*, Ed. Urmo, Bilbao, 774 p., 1972.
- TSAY, J.-R.; LIANG, L.-S.; LU, L.-H.: “Evaluation of an air-assisted boom spraying system under a no-canopy condition using cfd simulation”, *Transactions of the ASAE*, 47(6): 1887-1897, 2004, ISSN: 2151-0059, DOI: 10.13031/2013.17797.
- WALKLATE, P.J.: “A simulation study of pesticide drift from an air-assisted orchard sprayer”, *Journal of Agricultural Engineering Research*, 51: 263-283, 1992, ISSN: 0021-8634, DOI: 10.1016/0021-8634(92)80042-Q.
- 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*, 63(4): 365-377, 1996, ISSN: 0021-8634, DOI: 10.1006/jaer.1996.0039.

Received: 17/02/2016.

Approved: 14/11/2016.

Mario Ignacio Herrera-Prat, Inv. y Prof. Tit., Ministerio de Educación Superior (MES), Calle 23 y F, Vedado, Plaza, La Habana, Cuba. E-mail: herrera@mes.gob.cu

Armando Eloy García de la Figal-Costales, E-mail: areloy@unah.edu.cu

Héctor de las Cuevas-Milán, E-mail: hector@unah.edu.cu

Mauri Martins-Teixeira, E-mail: mauri@ufv.br

Note: the mention of commercial equipment marks, instruments or specific materials obeys identification purposes, there is not any promotional commitment related to them, neither for the authors nor for the editor.