



Evaluación mediante la Dinámica de los Fluidos por Computadora (CFD) de la corriente de aire del pulverizador agrícola ASS-800

Evaluation by means of Computer Fluid Dynamics (CFD) of the current of air of the field crop sprayer ASS 800

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), Plaza de la Revolución, La Habana, Cuba.

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

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

RESUMEN. Los pulverizadores agrícolas producen contaminación, debido fundamentalmente al desconocimiento en la regulación de estos, lo que continua siendo un problema, principalmente en los que utilizan corriente de aire para el traslado del producto al árbol. La corriente de aire producida por el ventilador del pulverizador está sometida al movimiento del aire en el ambiente y a la velocidad de traslación del equipo durante la aplicación, estos factores afectan el alcance de la corriente de aire y la eficacia del tratamiento al no lograr una cobertura uniforme en el árbol. El estudio de la corriente de aire mediante la dinámica de los fluidos por computadora (CFD) permite la evaluación del alcance de la corriente a diferentes regímenes de trabajo y obtener la información necesaria para una adecuada regulación de los pulverizadores en el proceso de trabajo. En este caso para la modelación se utilizará el programa ANSYS 5.3, el mismo permite resolver problemas de fluidos y transferencia de calor utilizando las ecuaciones de Navier-Stokes. En el trabajo se evalúa la aerodinámica de la corriente de aire en diferentes regímenes de trabajo en el pulverizador integral ASS800 TYME, el mismo posee un ventilador axial con salida radial y se utiliza en el control de plagas en frutales.

Palabras clave: contaminación ambiental, regulación de pulverizadores agrícolas, control de plagas en frutales.

ABSTRACT. Agricultural sprayers produce pollution, mainly due to lack of knowledge about their regulation, what is still a problem, mostly in those using air streams to transfer the product to the tree. The airflow produced by the sprayer's fan is subject to air movement in the atmosphere and the translational speed of the equipment during the implementation. These factors affect the scope of the air stream and the treatment efficiency after failing to cover uniformly in the tree. The study of the airflow through *Computer Fluid Dynamics (CFD)* allows the assessment of the stream's scope to different working arrangements and to obtain the necessary information for proper regulation of sprayers in the work process. In this case, the software ANSYS 5.3 is used for modeling, since it is helpful to solve problems about fluids and heat transfer using Navier-Stokes' equations. In this research, the airflow's aerodynamics is evaluated in different work arrangements in integral sprayer ASS800 TYME; it has an axial fan with radial output and it is used to control pests on fruits.

Keywords: environmental contamination, regulation of agricultural sprayers, pest control in fruit.

INTRODUCCIÓN

La utilización de plaguicidas en el mundo es de 250 000000 de kg/año, por lo que resulta fundamental un trabajo preciso con el mismo para evitar la contaminación. Lograr una buena aplicación depende de muchos factores, donde el medio mecanizado de aplicación juega un papel predominante. La regulación

correcta de los pulverizadores terrestres y el conocimiento de sus potencialidades le permiten al agricultor hacer un uso eficiente de los plaguicidas y así disminuir la contaminación del ambiente y perjudicar la salud humana. La primera causa de contaminación en los pulverizadores lo constituye la deriva, esta se define como el "desplazamiento de un plaguicida fuera del blanco determinado, transportado por masas de aire o por

difusión (*Norma ASAE S-327.1 de la American Society for Agricultural Engineers Standard*). Es muy frecuente que se entienda como deriva sólo a “lo que se va fuera del lote pulverizado” y cause daño a algún cultivo cercano. Es necesario considerar que la deriva puede ser interna en el lote o cultivo pulverizado (*endoderiva*) o externa al mismo (*exoderiva*) (*Massaro 2013*). Este último tipo de deriva preocupa cuando se causa algún daño directo (*fitotoxicidad a otros cultivos*) o se afecta la salud de animales o personas a los que llega un plaguicida. Di Prinzio *et al.* (1998), en experimentos realizados con frutales, planteo que existe una alta correlación entre los niveles de pérdida y la uniformidad de la corriente de aire, que compromete la eficiencia de las pulverizaciones, según este autor, las causas de las pérdidas son debido a la rápida disminución de la velocidad en la corriente y la imposibilidad de fijar un caudal de aire óptimo, debido a factores exógenos, como la densidad de hojas, la velocidad de avance del pulverizador.

Los pulverizadores que utilizan la corriente de aire para el traslado de la gota hacia el árbol son los más propensos a producir la deriva, por lo que se hace necesario conocer la aerodinámica de la misma y así lograr disminuir las pérdidas de plaguicida haciendo un uso racional de sus potencialidades (*Pergher et al., 1997*). La corriente de aire está sometida en su trabajo a la acción de la velocidad del viento ambiental y la velocidad de trabajo del pulverizador, el estudio de la influencia de estos en el alcance de la corriente, aportará el conocimiento necesario para el empleo racional de los pulverizadores. El modelado de la dinámica de fluido por computadora (CFD) es

una herramienta que permite el análisis de los chorros planos (*Bengt 2012*), por lo que su aplicación puede apoyar la experimentación y simular la aerodinámica de la corriente de aire en las condiciones de trabajo, en el procesamiento de los resultados se utilizó el módulo de fluidos del programa ANSYS 5,3 y se utilizó como maqueta experimental el pulverizador ASS800 TYME. A partir de la velocidad del aire en las salidas y su distribución se procede a la simulación de la corriente de aire, estudiando el efecto en ésta del movimiento del pulverizador a velocidades de 2,18; 4,5 y 6,35 km/h. Se caracteriza la aerodinámica del pulverizador y los regímenes de trabajo más racionales a emplear. Los resultados se presentan en referencia a las dimensiones, posición y velocidad del aire en la corriente en el proceso de trabajo del pulverizador, lo que permite la determinación de los parámetros geométricos y cinemáticos de la corriente de aire en el proceso de pulverización. Estos resultados permitirán seleccionar la velocidad de trabajo más racional para el pulverizador.

MÉTODOS

Se empleó como maqueta experimental pulverizador integral modelo SS800 de la TEYME, el cual posee un ventilador axial con salida radial modelo “VL-765” de 750 mm de diámetro, con un canal de salida de 115 o 135 mm de anchos a seleccionar. El pulverizador ASS800 TEYME se introdujo en Cuba para utilizarlo en el control de plagas en cultivos de frutales.

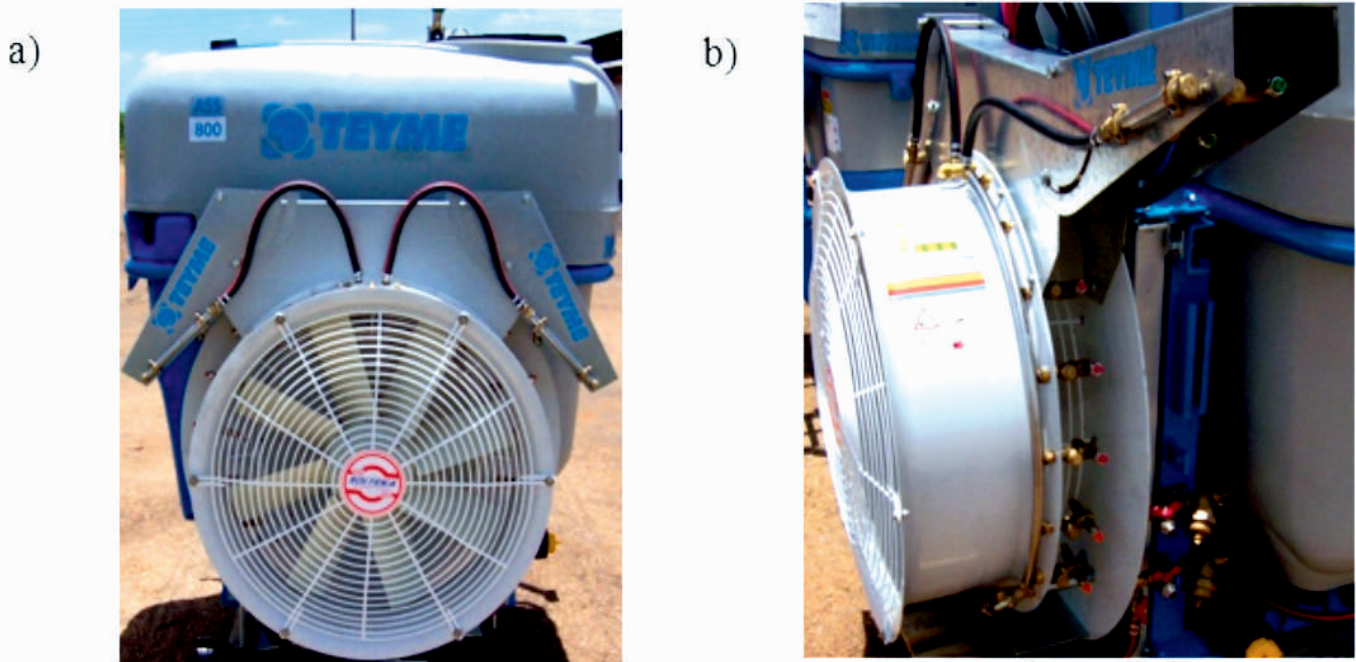


FIGURA 1. Pulverizador TYME SS800. Vista frontal y lateral del ventilador.

En el análisis de CFD se logra la solución de las ecuaciones de momento y de continuidad que se aplican en la dinámica de un chorro, a partir de lo cual se obtiene el perfil de velocidades y su distribución y así se puede determinar su posición y magnitud. La simulación se basa en la teoría del chorro plano libre, clasificado

dentro de la categoría de los flujos que no circulan entre paredes rígidas y que sale de un orificio dentro de un ambiente en reposo o en movimiento. Los flujos libres se pueden trabajar por las ecuaciones de la capa límite y el perfil de Schliting (1972), para determinar las velocidades en el espesor del flujo.

El análisis de CFD se realiza a partir del perfil de velocidades del aire a la salida del difusor y la geometría de ésta. Los datos de velocidad del aire utilizados en la simulación son resultados de mediciones experimentales referidas en el trabajo Herrera *et al.* (2013).

En este caso se trata de la modelación de la corriente de aire del pulverizador integral modelo ASS800, con la finalidad de terminar la distribución en un plano horizontal de la corriente de aire que pasa por el centro del ventilador (Figura 2), en este punto se utilizaron los valores de velocidad del aire del perfil que se origina a la salida del difusor, estos valores se tomaron de estudios realizados por Herrera *et al.* (2013), en la caracterización de este ventilador.

La modelación se efectúa considerando el pulverizador sin movimiento y a tres velocidades de trabajo del mismo (2,18; 4,16 y 6,35 km/h), con el objetivo de observar los cambios en la aerodinámica de la corriente analizando, la distribución de la velocidad y su posición. El régimen de trabajo escogido en el ventilador para la simulación es de 450 r.p.m., la cual es entregada por la toma de fuerza del tractor.

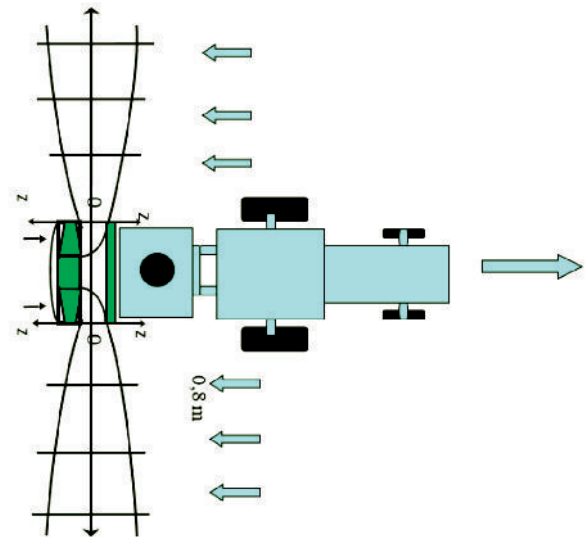


FIGURA 2. Esquema de la corriente de aire del pulverizador para su modelación.

DIMENSIONES Y PROPIEDADES

Los valores de distribución de la velocidad del aire en el punto N° 5 escogido en el difusor, así como las condiciones del experimento se obtienen del trabajo “Análisis de la aerodinámica del ventilador del pulverizador ASS800 TYME empleado en frutales” por Herrera *et al.* (2013) y se muestran en la Tabla 1.

TABLA 1. Dimensiones y propiedades

| DIMENSIONES Y PROPIEDADES | VALOR | | | |
|---|--|-------|-------|-------|
| Distribución de la velocidad del aire en; m/s | a | b | C | d |
| | 33,50 | 37,45 | 41,03 | 37,45 |
| Ancho de salida del aire en el ventilador | 11,5 cm | | | |
| Uniformidad de la velocidad del aire a la salida del ventilador | 0,83 | | | |
| Densidad del aire | 1,187 kg/m ³ | | | |
| Viscosidad | 1,8135 x 10 ⁻⁵ kg/m ⁻⁵ | | | |

Dominio computacional

Para la corrida del programa se crea un dominio computacional, donde se mueve el fluido (Figura 3); en este elemento se realiza el enmallado que define los nodos para el desarrollo de las ecuaciones del programa. En el elemento se colocan las condiciones de velocidades iniciales del problema planteado en la salida del difusor del pulverizador modelo SS800, en este caso representado por el espacio entre las líneas AB y HG. La zona GB (0,115 m) representa la salida del ventilador, en esta se cargaran los valores de las velocidades de aire medidas experimentalmente referidas en Herrera *et al.* (2013) y que se muestran en la Tabla 1, los bordes que la restringen (AB, HG) se considera la velocidad cero para simular las paredes del chorro. En las paredes laterales del modelo se consideran la velocidad del aire cero, ya que representa el aire tranquilo donde se inserta la corriente. El tramo DE no se aplican valores de velocidad para que el flujo se desarrolle libremente. Para la solución del problema en el modelo se definió un enmallado con 924 nodos y 861 elementos.

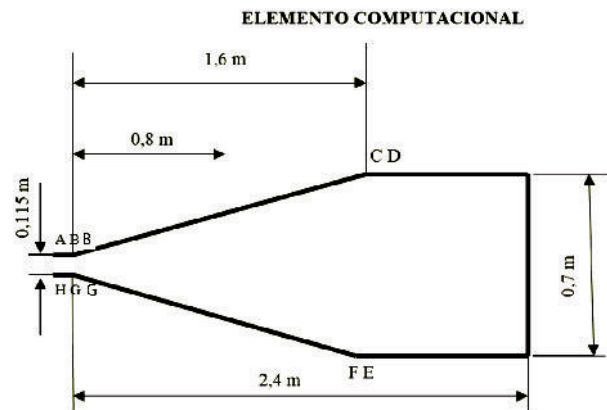


FIGURA 3. Dominio computacional para el modelado de la corriente de aire del pulverizador SS800.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se realizará el análisis de la modelación de la corriente de aire del pulverizador con las herramientas de

CFD, a partir de los valores de velocidad del aire a la salida del ventilador se procederá a simular la corriente.

En la Figura 4 se presenta la distribución de la velocidad en el área de la salida seleccionada para la modelación, estos valores de velocidad se colocaron en este orden en la posición GB de la Figura 3, como se observa la velocidad máxima es de 41 m/s y se produce en el punto c y la mínima es de 33,5 m/s en el punto a.



FIGURA 4. Distribución de velocidad del aire a la salida del ventilador utilizado en la modelación.

En la Figura 5 se presenta el gráfico de vectores de velocidad de la corriente simulado en CFD y la escala de valores de velocidad según el color, en este caso es la simulación considerando el pulverizador detenido, el valor máximo de velocidad en la simulación es de 41,086 m/s y se mantiene en un núcleo con un ancho de 2 cm a la distancia de 60 cm de la salida, los vectores de velocidad que acompañan este núcleo a su alrededor tienen un valor de 35 m/s.

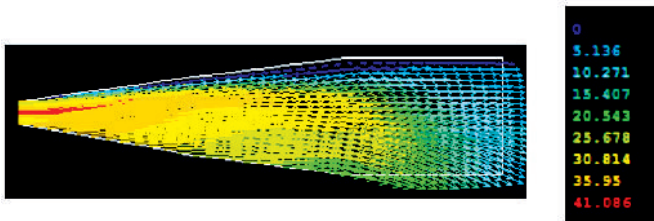


FIGURA 5. Gráfico de distribución de velocidades del pulverizador SS800 sin movimiento simulado en CFD.

Los vectores de la corriente con velocidad de 35 m/s poseen un ancho máximo de 25 cm y este núcleo se va estrechando al alejarse hasta desaparecer a la distancia de 120 cm de la salida, aquí a la derecha la acompaña una franja de 15 cm con velocidad de 30 m/s y a la izquierda con un ancho de 2 cm, el núcleo de velocidad de 30 m/s llega hasta 180 cm rodeado de velocidades de 20 a 25 m/s hasta la longitud de 200 cm, como se observa la corriente no es simétrica desde su nacimiento y el núcleo alcanza hasta los 200 cm de distancia una velocidad de 20 m/s con una tendencia de desviación a la derecha de la salida, a partir de aquí de 10 a 15 m/s alcanzan hasta 250 cm de la salida ocupando un ancho de 70 cm, en la parte extrema izquierda en una franja de 2 a 3 cm la velocidad es cero. Este es el comportamiento de la distribución de velocidades en la corriente con el pulverizador sin movimiento, donde tiene las características de una corriente inundada en aire tranquilo descrita por Abramovich (1963) y la distribución de la velocidad del aire descrita por Schliting (1972), donde un núcleo central se

desgasta a medida que se aleja de la salida, en este caso debido a la distribución de la velocidad del aire a la salida no presenta simetría en su desarrollo y su alcance es hasta los 260 cm con velocidades de 5 m/s.

Hasta aquí se describe la corriente de aire del pulverizador penetrando en aire tranquilo, en lo adelante se caracterizará el comportamiento de esta considerando el pulverizador en movimiento en su proceso de aplicación del plaguicida. En la Figura 6 se presenta la simulación de la corriente con el pulverizador moviéndose a 2,18 km/h,

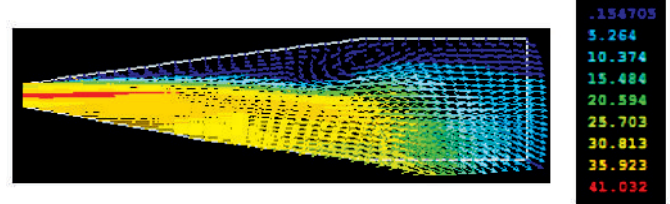


FIGURA 6. Gráfico de modelación de la corriente de aire del pulverizador SS800 moviéndose a una velocidad de 2,18 km/h.

como se observa si comparamos con la Figura 5, existen cambios en la formación de esta, el núcleo de máxima velocidad (41 m/s) se extiende manteniendo el mismo espesor a 80 cm de la salida y su posición es cercana al borde izquierdo de la corriente o sea la corriente se desarrolla la mayor parte a la derecha del núcleo de máxima velocidad, el núcleo de velocidad de 35 m/s alcanza 160 cm de longitud con un ancho de 20 cm, a este núcleo lo acompaña vectores de velocidad de 30 m/s con un ancho a la derecha de 20 cm y en la izquierda de 5 cm, este núcleo exterior alcanza hasta 160 cm, con respecto a la corriente sin movimiento ya se tienen diferencias producto de la velocidad de movimiento del pulverizador como: el núcleo de máxima velocidad y el de 35 m/s poseen mayor longitud pero más estrechos y desplazados a la derecha del eje central.

En la Figura 7 se muestra la corriente de aire simulada con el pulverizador moviéndose a una velocidad de 4,15 m/s, en general se observa un desplazamiento mayor de la corriente a la derecha del eje central.

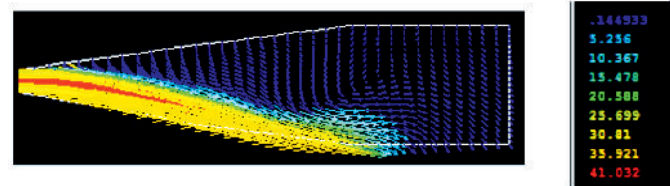


FIGURA 7. Gráfico de modelación de la corriente de aire del pulverizador SS800 moviéndose a una velocidad de 4,5 km/h.

En el gráfico de la Figura 7 se observa que el núcleo de velocidad máxima se mantiene con la misma longitud que a 2,18 km/h, pero en su mitad final se desplaza a la derecha del eje central, la acompaña el núcleo de velocidad de 35 m/s, hasta el borde derecho con un ancho de 15 cm y a la izquierda en una franja de 2 cm, la velocidad de 35 m/s mantiene un ancho de 20 cm hasta la longitud de 160 cm, donde continúa con velocidades de 30 m/s y la corriente termina en la longitud de 180 cm y un ancho de 35 cm con una velocidad entre 5 y 10 m/s. La aerodinámica de la corriente de aire cambia con el aumento de

la velocidad de desplazamiento del pulverizador en su trabajo, observándose una corriente más estrecha y totalmente desplazada a la derecha del eje central.

La Figura 8 muestra la corriente de aire simulada con una velocidad de movimiento del pulverizador de 6.35 km/h, como se observa en general el desplazamiento a la derecha del eje es mayor, la corriente es más estrecha y su longitud es menor; el núcleo de mayor velocidad (41 m/s) tiene un ancho de 3cm y su longitud es de 90 cm mayor que en los casos anteriores, el desplazamiento a la derecha es mayor. Alrededor del núcleo de mayor velocidad lo acompañan el de valores de 35 m/s con un ancho de 10 cm a la derecha y 5cm a la izquierda de este el mismo alcanza la longitud de 140 cm pero con un ancho de 7 cm menos de la mitad que en el caso anterior. El rango de velocidades 25 a 30 m/s abarca una franja de 5cm a la izquierda de la corriente y llegan hasta 160 cm de longitud con este ancho, la corriente termina con valores de 5 a 10 m/s con un ancho de 20 cm a la longitud de 170 cm.

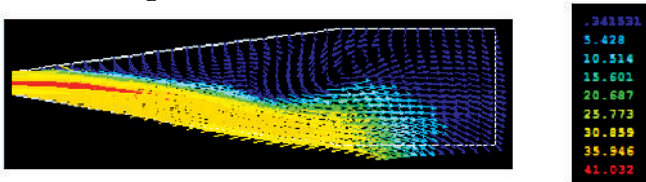


FIGURA 8. Gráfico de modelación de la corriente de aire del pulverizador SS800 moviéndose a una velocidad de 6,35 km/h.

Resumiendo con el aumento de la velocidad de traslación del pulverizador en el proceso de aplicación de plaguicidas la aerodinámica de la corriente sufre cambios que necesariamente influyen en la uniformidad del tratamiento en el árbol, el núcleo de máxima velocidad con el aumento de la velocidad de traslación aumenta su ancho, su longitud y la desviación a la derecha del eje, por otro lado el núcleo de velocidad de 35 m/s se hace más estrecho, disminuye su longitud y aumenta la desviación a la derecha del eje, en general la corriente disminuye el ancho en 40 cm y su longitud en 70 cm con respecto al pulverizador sin movimiento, estas características se deben tener en cuenta cuando se seleccionan los regímenes de trabajo del pulverizador en dependencia de los marcos de siembra y follaje del cultivo, sobre todo tener atención en la velocidad de 6.35 km/h donde la aerodinámica de la corriente tiene mayor

reduce el alcance de la corriente en 70 cm y el ancho en 50 cm.

afectación aumentando el fenómeno de la deriva que caracteriza el trabajo de este tipo de equipos referido por Brazeo *et al.* (1998), Di Prinzio *et al.* (1998); Tsay *et al.* (2002); Tsay *et al.* (2004) y Herrera *et al.* (2006).

La corriente de aire se produce en el pulverizador SS800 TYME a partir de una salida en el difusor de ancho 11.5 cm y una velocidad promedio en está de 37 m/s, si se compara con la simulación a iguales velocidades de traslación con el pulverizador HATSUTA (Herrera *et al.*, 2007) que posee un ancho en la salida de 7.5 cm y una velocidad promedio de 36 m/s, realizando el análisis con una velocidad de trabajo del pulverizador de 6.35 km/h se tiene que: la longitud de la corriente en el caso del ancho de salida mayor (11.5 cm) es mayor en 80 cm con velocidades similares a la salida y el ancho de la corriente es mayor en 10 cm. Este mismo análisis se realizará comparando con el pulverizador MARTIGNANI (Herrera *et al.* 2010), que utilizando un ventilador centrifugo tiene una ancho de salida de 5 cm y una velocidad promedio de 57 m/s, se observa que a pesar de tener 20 m/s de velocidad mayor y menos de la mitad del ancho de salida que la ASS800 TYME sucede algo similar, se reduce el alcance de la corriente en 70 cm y el ancho en 50 cm.

CONCLUSIONES

- Se tiene la simulación de la aerodinámica de la corriente de aire del pulverizador ASS800 TYME sin movimiento y para tres velocidades de operación de este.
- La corriente de aire producida por el pulverizador en condiciones estáticas tiene un alcance de 260 cm y un ancho de 70 cm.
- La corriente de aire del pulverizador ASS800 TYME con el aumento de la velocidad de traslación del pulverizador hasta 6.35 m/s disminuye su alcance en 80 cm y el ancho de la corriente en 30 cm y el núcleo de máxima velocidad se desvía alcanzando el borde derecho de la corriente.
- Para velocidades a la salida del aire del ventilador similares, cuando el ancho de salida es de 11.5 cm la longitud de la corriente alcanza 80 cm más que con una apertura de 7.5 cm de ancho.
- Para velocidades superiores en 20 m/s y un ancho de salida menor que la mitad que el pulverizador ASS800 TYME, se

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.
- BENGT ANDERSSON: *Computational fluid dynamics for engineers*, Cambridge: Cambridge University Press, USA, 2012.
- 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.
- 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.
- FAROOQ M & M SALYANI: "Modeling of Spray Penetration and Deposition on Citrus Tree Canopies", *Transactions of the ASAE*, 47 (3), 2004.
- HERRERA, P. M.I.; M. TEIXEIRA; G.J.RODRÍGUES: "Influencia de la velocidad del pulverizador y la presión de líquido en la deposición

- del espectro de gotas”, *Revista Ciencias técnicas Agropecuarias*, 15 (3): 34-38, 2006.
- HERRERA, M.I.; E. RAMOS; H. DE LAS CUEVAS; C. M. DE SOUZA: “Relación entre la velocidad del pulverizador y la corriente de aire en plantaciones de café”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 16 (1): 10-14, 2007.
- HERRERA, P. M.I.; A.E. GARCÍA DE LA FIGAL; H. DE LAS CUEVAS; M. TEXEIRA: “Modelación mediante la dinámica de los fluidos por computadora (CFD) de la corriente de aire de un pulverizador agrícola con ventilador centrífugo”, *Revista Ciencias técnicas Agropecuarias*, 19 (3): 62-68, 2010.
- HERRERA, M. I.; A.E. GARCÍA DE LA FIGAL; H. DE LAS CUEVAS: “Análisis de la aerodinámica del ventilador del pulverizador SS800 TYME empleado en frutales”, *Revista Ciencias técnicas Agropecuarias*, 19 (3): 62-68, 2013.
- MASSARO, R.A. *Aplicación terrestre de plaguicidas: ¡Hay que cambiar la forma de trabajar! [en línea], Disponible en: <http://www.pregonaagropecuario.com.ar/cat.php?txt=4344#hgAVb44uDoIMXTg0.99> [Consulta: mayo 10 2003].*
- NORMA ASAE S-327.1.: *American Society for Agricultural Engineers Standard [Consulta: mayo 10 2003].*
- PANNETON B. & M. PICHE: “Interaction Between Application Volume, Airflow, and Spray Quality in Air-Assisted Spraying”, *Transactions of the ASAE*, 48 (1): 37-42, 2005.
- PERGHER, G.; GUBIANI, R.; TONETO, G.: “Foliar deposition and pesticide losses from three air-assisted sprayers in a hedgerow vineyard”, *Crop Protection*, 16: 25-33, 1997.
- SCHLITING, H.: *Teoría de la capa limite*, 68pp., Versión en español de la 5ª Edición. Ed. Mc Grawill- Hill, México D.F., 1972.
- TSAY J., R D FOX, H E OZKAN R D BRAZEE & R C DERKSEN: “Evaluation of a Pneumatic-Shielded Spraying System by CFD Simulation” *Transactions of the ASAE*, 45 (1): 47-53, 2002.
- 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*, 47 (6): 2004.

Recibido: 10 de Septiembre de 2014 e Inv. Auxiliar, Ministerio de Educación Superior (MES), La Habana, Cuba, Correo electrónico: herrera@mes.gob.cu
Aprobado: 20 de mayo de 2014
Aprobación de derechos 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.



GIAF