



## USE OF THE ENERGY IN AGRICULTURE USO DE LA ENERGÍA EN LA AGRICULTURA



<https://eqrcode.co/a/A5uASJ>

ORIGINAL ARTICLE | ARTÍCULO ORIGINAL

# Energy Balance in Agricultural Sprayers

## *Balance energético en pulverizadores agrícolas*

Dr.C. Mario Ignacio Herrera-Prat<sup>1</sup>, MSc. Héctor de las Cuevas-Milán<sup>1</sup>, MSc. Miguel Pelayo García-Fernández<sup>1</sup>,  
Ing. Raúl Ernesto Torres-Fuentes<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ministerio de Educación Superior (MES), Plaza de La Revolución, La Habana, Cuba.

<sup>11</sup> Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, Centro de Mecanización Agropecuaria (CEMA), San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

**RESUMEN.** La mayoría de los pulverizadores utilizados en frutales son del tipo de chorro transportado, los cuales utilizan un flujo de aire producido por un ventilador para trasladar la gota de plaguicida al árbol. En el balance energético de los pulverizadores agrícolas asistidos por corriente de aire, se plantea que entre el 50 y el 65% de la potencia en estos equipos la utiliza el ventilador que produce el flujo de aire. Los pulverizadores con corriente de aire producen gran contaminación por altos niveles de deriva. Utilizando la Modelación de Fluidos en por Computadora (CFD) se analiza la aerodinámica del flujo de aire en función de los parámetros geométricos y cinemáticos del ventilador, lo que permite determinar el flujo de aire con mejores características. En los regímenes seleccionados se evalúan la calidad del cubrimiento de la planta, mediante métodos de tratamiento de imagen. En este caso se logra un régimen de trabajo que disminuye la cantidad de potencia requerida, manteniendo la calidad del tratamiento.

**Palabras clave:** pulverizadores, corriente de aire, dinámica de los fluidos computacional.

**ABSTRACT.** Most of the sprayers used in fruit trees are of the type of jet transported, which use an air flow produced by a fan to transfer the pesticide drop to the tree. In the energy balance of agricultural sprayers assisted by air flow, it is proposed that between 50 and 65% of the power in these equipment is used by the fan that produces the air flow. Air stream sprayers produce high pollution due to high levels of drift. Using the Computer Modeling of Fluids (CFD) the aerodynamics of the air flow is analyzed based on the geometric and kinematic parameters of the fan, which allows to determine the air flow with better characteristics. The selected regimens assess the quality of the plant cover, using image treatment methods. In this case, a work regime is achieved that decreases the amount of power required, maintaining the quality of the treatment.

**Keywords:** Sprayers, Air Stream, Computational Fluid Dynamics.

### INTRODUCTION

In the energy balance of agricultural sprayers assisted by air flow, it is suggested that between 50 and 65% of the power in these equipment is used to move the fan that produces the air flow. At work, a power balance of the TYME 2091 sprayer is carried out, considering the power shot, the power liquid pump and the power in fan. The aerodynamics of the air flow from the fans in agricultural sprayers is essential to achieve efficient tree coverage. The magnitude of the flow and speed of the fan air are parameters that decide on the transfer of the pesticide drop to the tree, because it influences its speed,

### INTRODUCCIÓN

En el balance energético de los pulverizadores agrícolas asistidos por corriente de aire, se plantea que entre el 50 y el 65% de la potencia en estos equipos la utiliza en mover el ventilador que produce el flujo de aire. En el trabajo se realiza un balance de potencia del pulverizador TYME 2091, considerando la potencia en el tiro, la bomba de líquido y la potencia necesaria en el ventilador. Por otro lado, la aerodinámica del flujo de aire de los ventiladores en los pulverizadores agrícolas es fundamental para lograr una cobertura eficiente del árbol. La magnitud del caudal y velocidad del aire del ventilador son parámetros que deciden en el traslado de la gota de plaguicida hacia

<sup>1</sup> Author for correspondence: Mario herrera Prat, e-mail: herrera@mes.gob.cu

Received: 01/07/2020.

Approved: 01/03/2021.

direction and size, as corroborated Delele *et al.* (2005), when he expresses that the air velocity generated by the air stream-assisted sprayers determines the destination of the pesticide droplets. On the other hand, works by Herrera *et al.* (2004), have related the parameters of the fan with the quality of the sprinkling, so the knowledge of these will allow an adequate exploitation of the sprayer. The parameters of the fan are closely linked to its power consumption and in turn decide on the quality of the sprinkler, so the study of the aerodynamics of the air flow is important to achieve low energy consumption and maintain the quality of the treatment. Researchers in recent years have developed computational fluid dynamics (CFD) models, looking for a way to solve this problem with more agility and fewer resources for experimentation. The work with CFD has been complemented with experimental field trials of Walklate *et al.* (1996); Xu *et al.* (1998) the generalised mass and momentum conservation equations, coupled with a  $k-\epsilon$  turbulence model, are solved numerically using finite volume methodology. These equations utilise a spatial-averaged porous medium model to take into account the effect of interactions between the air flow and crop. Airborne spray flux distributions have been calculated from ensemble-averaged particle trajectories predicted by two random-walk models (i.e. with and without temporal correlation; Herrera *et al.* (2004); Delele *et al.* (2007). More recent studies in CFD with results validated in a controlled way were carried out by Tsay *et al.* (2004); Han *et al.* (2014). In this work, the effect of the variation of the air speed at the fan outlet on the aerodynamics of the air flow during the work process of the sprayer will be analyzed through the use of computer simulation (CFD) and as variables Answers will analyze the deviation and scope of the air flow through the interpretation of the velocity graphs of the modelling results. These results are complemented with the control of the quality of the sprinkling in the variables studied. Quality evaluations are carried out in the field using hydrosensitive cards, in which the covered area is measured using Imagej, the image treatment program. Conclusions are reached about the relationship of the fan parameters, the aerodynamics of the air flow and the quality of the spray, allowing the selection of the working regime with the lowest power consumption.

## MATERIALS AND METHODS

The model for the study is based on the parameters of the TEYME 2091 sprayer fan, which has an axial fan with radial outlet model "PVS-900" with a diameter of 900 mm. Fan outlet speeds of 18, 22 and 27 m/s will be evaluated, maintaining the outlet width of the fan diffuser and considering the sprayer with a translation speed of 2.18 km/h. Figure 1 shows the sprayer used as a reference for modeling.

Table 1 shows the parameters of the fan, air speed at the outlet, air flow and power consumed, in the variants to be evaluated with the movement speed of the sprayer of 2.18 km/h. The data of the ventilator parameters are taken from the data provided by the manufacturer.

el árbol, debido a que influye en su velocidad, dirección y tamaño de la misma, así lo corrobora 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 parámetros del ventilador están muy ligados al consumo de potencia de este y a su vez deciden en la calidad de la aspersión, por lo que el estudio de la aerodinámica del flujo de aire es importante para lograr un bajo consumo energético y mantener la calidad del tratamiento. 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. El trabajo con CFD se ha complementando con ensayos experimentales de campo de Walklate *et al.* (1996); Xu *et al.* (1998) the generalised mass and momentum conservation equations, coupled with a  $k-\epsilon$  turbulence model, are solved numerically using finite volume methodology. These equations utilise a spatial-averaged porous medium model to take into account the effect of interactions between the air flow and crop. Airborne spray flux distributions have been calculated from ensemble-averaged particle trajectories predicted by two random-walk models (i.e. with and without temporal correlation; Herrera *et al.* (2004); 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). 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 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 complementan estos resultados con el control de la calidad de la aspersión en las variables estudiadas. Las evaluaciones de la calidad se realizan en el campo utilizando tarjetas hidrosensibles, en estas se mide el área cubierta utilizando el programa Imagej de tratamiento de imagen. Se llega a conclusiones acerca de la relación de los parámetros del ventilador, la aerodinámica del flujo de aire y la calidad de la aspersión, permitiendo seleccionar el régimen de trabajo con menor consumo de potencia.

## MATERIALES Y METODOS

El modelo para el estudio está basado en los parámetros del ventilador del pulverizador TEYME 2091, el cual posee un ventilador axial con salida radial modelo "PVS-900" de 900 mm de diámetro. Se evaluarán velocidades de salida del ventilador de 18, 22 y 27 m/s, manteniendo el ancho de salida del difusor del ventilador y considerando el pulverizador con velocidad de traslación de 2,18 km/h. En la Figura 1 se muestra el pulverizador utilizado como referencia para la modelación.

En la Tabla 1 se muestran los parámetros del ventilador, velocidad del aire a la salida, caudal del aire y potencia consumida, en las variantes a evaluar con la velocidad de movimiento del pulverizador de 2,18 km/h. Los datos de los parámetros del ventilador, son tomados de los datos aportados por el fabricante.



FIGURE 1. Sprayer used an experimental model.  
 FIGURA 1. Pulverizador utilizado como maqueta experimental.

Fan parameters	Airspeed in; m/s	Airflow in; m <sup>3</sup> /h	Power in; kW
V-1	18	46 789	9,75
V-2	22	56 959	18,04
V-3	27	69 095	31,05

### Energy balance

The energy balance is made from the power consumption of the sprayer, the power consumption in the shot, the power consumed by the pump to move the liquid to the nozzles where the drop is produced and the power consumption of the fan which produces the air stream for the transfer of the drops towards the tree.

#### Power consumption in the shot

Determination of the shot force, N.

$$R_m = f \cdot G$$

where:

G- weight of the sprayer, kN;

f- coefficient of rolling resistance.

Power consumed in the draft, kW.

$$N_m = R_m \cdot v_{tr}$$

where:

$v_{tr}$  -velocity of translation, m/s.

Hydraulic power consumed by the pump, kW.

$$N_{hid} = Q_R \cdot p_R$$

where:

$Q_R$ -flow or pump flow, m<sup>3</sup>/s;

$p_R$ - pressure supported by the pump, N/m<sup>2</sup>.

Pump power, kW.

$$N_{bomba} = \frac{N_{hid}}{\eta_{total}}$$

where:

$\eta_{total}$  - total efficiency.

### Balance energético

El balance energético se realiza a partir del consumo de potencia del pulverizador, el consumo de potencia en el tiro, la potencia consumida por la bomba para mover el líquido a las boquillas donde se produce la gota y el consumo de potencia del ventilador el cual produce la corriente de aire para el traslado de las gotas hacia el árbol.

#### Consumo de potencia en el tiro

Determinación de la fuerza de tiro, N.

$$R_m = f \cdot G$$

donde:

G- peso del pulverizador, kN;

f- coeficiente de resistencia a la rodadura.

Potencia consumida en el tiro, kW.

$$N_m = R_m \cdot v_{tr}$$

donde:

$v_{tr}$  -velocidad de traslación, m/s.

Potencia hidráulica consumida por la bomba, kW.

$$N_{hid} = Q_R \cdot p_R$$

donde:

$Q_R$ -caudal o gasto de la bomba, m<sup>3</sup>/s;

$p_R$ - presión que soporta la bomba, N/m<sup>2</sup>.

Potencia de la bomba, kW.

$$N_{bomba} = \frac{N_{hid}}{\eta_{total}}$$

donde:

$\eta_{total}$  -eficiencia total.

For the analysis of the energy balance, a Pareto diagram will be made to compare the power consumption in the agricultural sprayer.

### Modeling of the air stream

The computational modeling analysis was carried out using the ANSYS 16.0 program, which bases its numerical analysis on the solution of the moment and continuity equations that are applied to the air flow dynamics. Figure 2 shows the computational domain where the fluid moves for CFD modeling, this element shows the mesh that defines 489 nodes and 443 elements for the development of the Navier-Stokes equations. In the modeling, the properties of air as a fluid were density of  $1,225 \text{ kg/m}^3$  and viscosity of  $1,7894 \times 10^{-5} \text{ kg/m.s}$ . As response variables, the deviation and scope of the air flow will be analysed through the interpretation of the velocity distribution graphs.

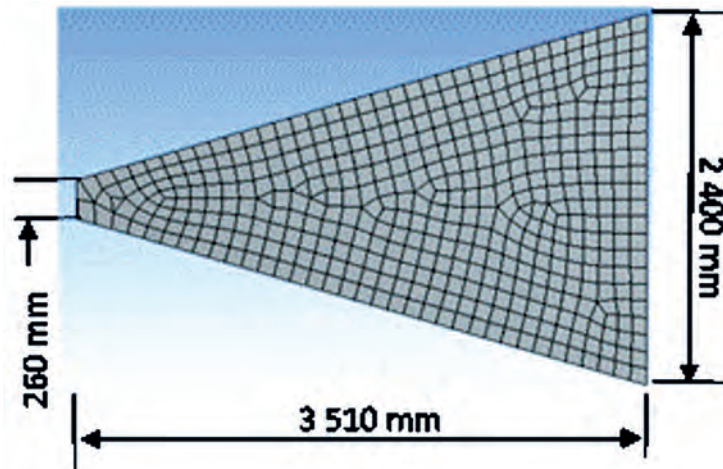


FIGURA 2. Computational domain for fan air stream modeling.  
FIGURA 2. Dominio computacional para el modelado de la corriente de aire del ventilador.

### Measurement of spray quality

The way to quantify the quality of the spraying is by evaluating the coverage of the tree by the pesticide drops, in addition to determining the size and number of drops. Currently there are different technologies available in image analysis that can determine the coverage percentage safely. Samples are taken from the pesticide deposit on the tree with hydrosensitive cards, they are placed on the plant by the beam and the underside of the leaves in different positions. The evaluation was made in citrus plantations of the Jagüey Grande enterprise, maintaining similar conditions for the three variants studied. In the analysis of the hydrosensitive cards to measure the coverage, the Imagej image treatment program was used.

## RESULTS AND DISCUSSION

### Power consumption calculation results

In the theoretical calculation of the pulling power ( $N_{\text{tiro}}$ ), the full mass of the sprayer 3 405 kg was taken from the technical specifications of the sprayer and a rolling coefficient of  $f =$

Para el análisis del balance energético se confeccionará un diagrama de Pareto, para comparar los consumos de potencia en el pulverizador agrícola.

### Modelación de la corriente de aire

El análisis de modelación computacional se realizó empleando el programa ANSYS 16.0, esta 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. En la Figura 2 se muestra el dominio computacional donde se mueve el fluido para la modelación en CFD, en este elemento se muestra el enmallado que define 489 nodos y 443 elementos para el desarrollo de las ecuaciones de Navier-Stokes. En la modelación las propiedades del aire como fluido fueron densidad de  $1,225 \text{ kg/m}^3$  y viscosidad de  $1,7894 \times 10^{-5} \text{ kg/m.s}$ . 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.

### Medición de la calidad de la aspersión

La forma de cuantificar la calidad de la aspersión es evaluando la cobertura del árbol por las gotas de plaguicida, además de determinar el tamaño y número de gotas. Actualmente existen disponibles diferentes tecnologías en el análisis de imágenes que pueden determinar el porcentaje de cobertura de forma segura. Se toman muestras del depósito del plaguicida en el árbol con tarjetas hidrosensibles, las mismas son colocadas en la planta por el haz y el envés de las hojas en diferentes posiciones. La evaluación fue hecha en plantaciones de cítricos del Plan Jagüey Grande manteniendo condiciones similares para las tres variantes estudiadas. En el análisis de las tarjetas hidrosensibles para medir el cubrimiento se utilizó el programa de tratamiento de imagen Imagej.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Resultados del cálculo del consumo de potencia

En el cálculo teórico de la potencia de tiro ( $N_{\text{tiro}}$ ), se tomó de las especificaciones técnicas del pulverizador la masa llena del mismo 3 405 kg y se seleccionó un coeficiente de rodadura



0.05 was selected. In the theoretical calculation of the ( $N_{pump}$ ), a flow rate of 70 L/min, a pressure of 20 bar and an efficiency of  $\eta_{total} = 0.82$  was selected as its working regime.

Table 2 shows the results of the power consumed in the sprayer, in the draft, in the pump and the fan for the different working regimes.

de  $f=0,05$ . En el cálculo teórico de la ( $N_{bomba}$ ) se seleccionó como régimen de trabajo de la misma, un caudal de 70 L/min, una presión de 20 bar y una eficiencia de  $\eta_{total}=0,82$

En la Tabla 2 se muestran los resultados de la potencia consumida en el pulverizador, en el tiro, en la bomba y el ventilador para los diferentes regímenes de trabajo.

**Table. 2 Results of the power consumed by the sprayer**  
**Tabla. 2 Resultados de la potencia consumida por el pulverizador**

Fan parameters	$N_{shot}$ in; kW	$N_{pump}$ in; kW	$N_{fan}$ en; kW
V-1	1,012	2,84	9,75
V-2	1,012	2,84	18,04
V-3	1,012	2,84	31,05

In Figure 3, 4 and 5 the results of the table are shown in Pareto diagrams. In the same it is observed that in the power balance of the agricultural sprayer studied TYME 2109, the power consumed by the fan to produce the air current occupies 71.7, 82.4 and 89% of the total, for the variants V-1, V- 2 and V-3 respectively. The highest consumption is the fan, so in the analysis to obtain better energy performance indices in the sprayer, it is necessary to focus the work on the fan parameters to achieve a rational energy balance.

En la Figura 3, 4 y 5 se muestran los resultados de la tabla en diagramas de Pareto. En la misma se observa que en el balance de potencia del pulverizador agrícola estudiado TYME 2109, la potencia consumida por el ventilador para producir la corriente de aire ocupa el 71.7, 82.4 y 89 % del total, para las variantes V-1, V-2 y V-3 respectivamente. El mayor consumo lo tiene el ventilador, por lo que en el análisis para obtener mejores índices de desempeño energético en el pulverizador hay que centrar el trabajo en los parámetros del ventilador para logra un balance energético racional.

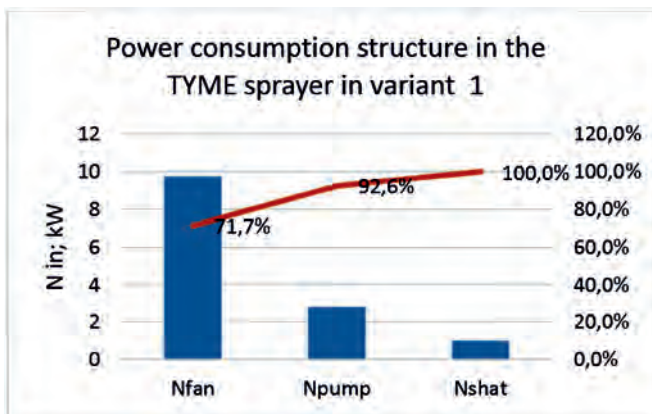


FIGURA 3. Power consumption structure in the TYME sprayer in variant 1.  
 FIGURA 3. Estructura de consumo de potencia en el pulverizador en la variante 1.

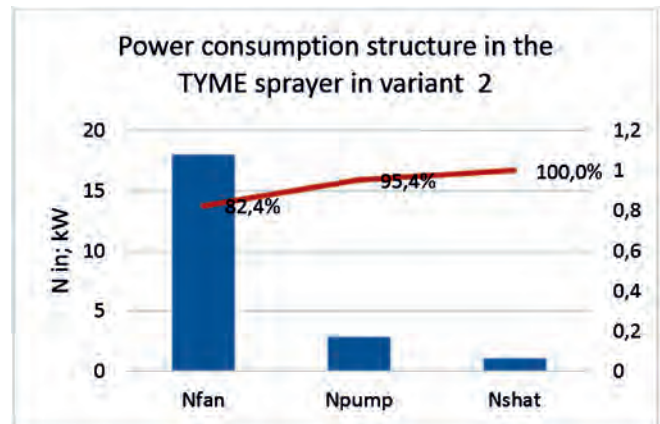


FIGURA 4. Power consumption structure in the TYME sprayer in variant 2.  
 FIGURA 4. Estructura de consumo de potencia en el pulverizador en la variante 2.

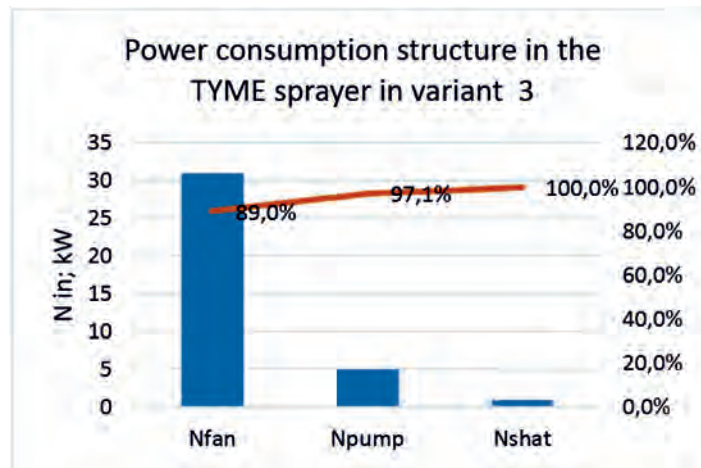


FIGURA 5. Power consumption structure in the TYME sprayer in variant 3.  
 FIGURA 5. Estructura de consumo de potencia en el pulverizador en la variante 3.

## Airstream modeling results

In the results, the flow graphs obtained in the CFD modeling are analyzed for the three air outlet speeds studied, and the sprayer translation speed of 2.18 km/h. In general, for all the simulated variants of the outlet velocity and the translation of the sprayer in the flow graphs, the different regions of the current described by Abramovich *et al.* (1984) are defined for the turbulent free flows, forming a central nucleus of maximum speed that wears out as it moves away from the source of the current (red color), it is accompanied by transition zones with lower speed values than as the distance to the outlet decreases and the center line of the lateral flow as described (Schliting, 1972).

Figure 6 shows the results of the air current for air speeds at the fan outlet of 18.22 and 27 m/s, in this case in the simulation it is considered that the sprayer moves at a speed of 2.18 km/h in its work process, so the air flow is subjected to the perpendicular action of this speed.

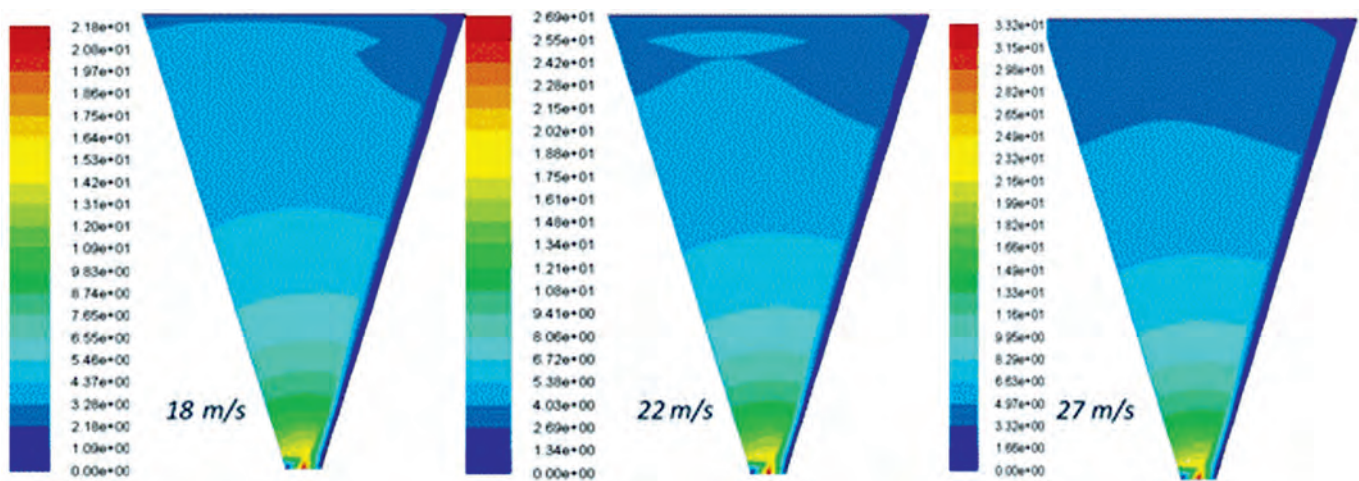


FIGURE 6. Simulation of air flow with sprayer travel speed of 2.18 km/h for fan output speeds of 18, 22 and 27 m/s.

FIGURA 6. Simulación del flujo de aire con velocidad de traslación del pulverizador de 2.18 km/h para velocidades de salida del ventilador de 18, 22 y 27 m/s.

As can be seen in Figure 6, the central nucleus of the flow represented with red colour disappears at a distance of 0.06 m from the origin in all the variants studied. In the transitory zone of the air flow for the three speeds studied, the maximum speed line presents a deviation of 0.15 m with respect to the geometric axis of the computational domain and in the opposite direction to the movement of the sprayer. At a distance of 3.5 m from the fan outlet, the difference between the airflow speeds between V-1 and V-2 is 0.63 m/s, in this case the difference at the fan outlet is 4 m/s; This same analysis for the V-2 and V-3, at 3.5 m distance from the outlet the difference is 0.51 m/s and the outlet is 5 m/s, which shows greater losses in the flow with higher velocities at the beginning. Similar analyses are found in works by Endalew *et al.* (2010).

This indicates that for the sprayer travel speed of 2.18 km/h it can be considered to use lower output speeds due to the similarity in the structure of the current, this gives the possibility of working with a lower power consumption regime of the fan and thus obtaining more rational energy performance indices.

## Resultados de la modelación de la corriente de aire

En los resultados se analizan los gráficos de flujo obtenidos en la modelación por CFD para las tres velocidades de salida del aire estudiadas, y velocidad de traslación del pulverizador de 2.18 km/h. 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 *et al.* (1984) 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 (Schliting, 1972).

En la figura 6 se muestran los resultados de la corriente de aire para velocidades del aire a la salida del ventilador de 18, 22 y 27 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 6, el núcleo central del flujo representado con color rojo desaparece a los 0,06 m de distancia del origen en todas las variantes estudiadas. 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 3.5 m de la salida del ventilador la diferencia entre las velocidades en el flujo de aire entre la V-1 y la V-2 es de 0.63 m/s, en este caso la diferencia a la salida del ventilador es de 4 m/s; este mismo análisis para las V-2 y V-3, a 3.5 m de distancia de la salida la diferencia es de 0.51 m/s y a la salida es de 5 m/s, lo que demuestra mayores pérdidas en el flujo con mayores velocidades al inicio. Análisis similares se tienen en trabajos de Endalew *et al.* (2010).

Esto indica que para la velocidad de traslación del pulverizador de 2,18 km/h se puede valorar utilizar velocidades de salida menores por la similitud en la estructura de la corriente, esto da la posibilidad de trabajar con un régimen de consumo de potencia menor del ventilador y así obtener índices de desempeño energéticos más racionales.

## Quality results of spraying

Table 3 shows the coverage results of the plant with pesticide for the three variants studied. It is observed that the best results are obtained for the V-2 variant, with a coverage of 90.2% by the upper part of the leaf and 85.2% by the underside of the leaf, although in the other variants the values are not low, but if differ on the underside of the leaf.

**TABLE 3. Results of the spray quality analysis**  
**TABLA 3. Resultados del análisis de calidad de la aspersión**

Effectiveness of tree coverage by pesticide droplets in% at sprayer speed at 2.18 km/h			
Speed at fan outlet	18 m/s	22 m/s	27 m/s
Leaf beam	86,4	90,2	80,8
Leaf underside	79,3	85,2	68,2

This result of the quality of the sprinkling is narrowing related to the parameters of the fan. The lowest results in tree coverage are obtained in the V-3 variant, associated with the highest air outlet velocity (27 m/s) and the highest air flow 69 095 m<sup>3</sup>/h. In the case of the higher air outlet speed of the fan, the air stream achieves the greatest range as seen in figure 6, but the results in the quality of the aspersión are lower; Similar results to these obtained Randall (1971), when he determined better results in the tree cover for greater air flow with lower air speed. This result is due to the fact that a higher speed in the flow of the sprayer results in the screen effect on the foliage, not allowing the pesticide liquid to penetrate into the tree or that the high speed when transporting the drop reaches energy values kinetics such that it does not allow it to settle on the foliage and thus have less coverage of the tree.

The results show that when selecting a sprayer operating regime, the fan output speed and flow and the sprayer travel speed must be taken into account. The fan as the greatest power consumer in the agricultural sprayer must achieve a rational work regime and thus obtain better energy performance indices.

In the tree coverage results, the best results correspond to the V-2 variant with a fan working regime with an air flow rate of 56 959 m<sup>3</sup>/h and an air outlet speed of 22 m/s. If the power consumption of the V-2 variant is analyzed with respect to the V-3 variant, it is possible to reduce the power consumed by the fan by 13 kW.

## CONCLUSIONS

- The fan is the highest power consumer with a range from 71 to 89% of the total sprayer, which indicates that in order to improve the energy performance index of this equipment, work must be done to obtain the most rational working parameters of this.
- In the CDF flow modeling, greater losses in the fan air flow were shown with higher fan air outlet speeds in the variants studied.

## Resultados de calidad de la aspersión.

En la Tabla 3 se tienen los resultados de cobertura de la planta con plaguicida para las tres variantes estudiadas. Se observa que los mejores resultados se obtienen para la variante V-2, con una cobertura de 90,2 % por el haz de la hoja y 85,2 % por el envés de la hoja, aunque en las otras variantes los valores no son bajos, pero si difieren en el envés de la hoja.

Este resultado de la calidad de la aspersión está estrechamente relacionado con los parámetros del ventilador. Los resultados más bajos en el cubrimiento del árbol se obtienen en la variante V-3, asociado a la mayor velocidad de salida del aire (27 m/s) y el mayor caudal de aire 69 095 m<sup>3</sup>/h. En el caso de la mayor velocidad de salida del aire del ventilador, la corriente de aire logra el mayor alcance como se observa en la figura 6, pero los resultados en la calidad de la aspersión son más bajos; resultados similares a estos obtuvo Randall (1971), cuando determino mejores resultados en el cubrimiento del árbol para mayor caudal de aire con menor velocidad del aire. Este resultado se debe a que una mayor velocidad en el flujo del pulverizador trae como consecuencia, 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 y así se tenga un menor cubrimiento del árbol.

Los resultados demuestran que al seleccionar un régimen de trabajo del pulverizador se deben tener en cuenta la velocidad y caudal de salida del ventilador y la velocidad de traslación del pulverizador. El ventilador como mayor consumidor de potencia en el pulverizador agrícola se debe lograr un régimen racional de trabajo y así obtener mejores índices de desempeño energético.

En los resultados de cubrimiento del árbol, los mejores resultados corresponden a la variante V-2 con un régimen de trabajo del ventilador de un caudal de aire de 56 959 m<sup>3</sup>/h y una velocidad de salida de salida del aire de 22 m/s. Si se analiza el consumo de potencia de la variante V-2 con respecto a la variante V-3, se tiene es posible disminuir la potencia consumida por el ventilador en 13 kW.

## CONCLUSIONES

- El ventilador resulta el mayor consumidor de potencia con un rango de 71 al 89 % del total del pulverizador, lo que indica que para lograr mejorar el índice de desempeño energético de estos equipos, se debe trabajar en obtener los parámetros de trabajo más racionales de este.
- En la modelación del flujo por CDF, se demostró mayores pérdidas en el flujo de aire del ventilador con mayores velocidades de salida del aire del ventilador en las variantes estudiadas.



- The best results in tree coverage were obtained in the V-2 variant, with an air outlet speed of the fan of 22 m/s and an air flow of 56 959 m<sup>3</sup>/h, which indicates better aerodynamic characteristics in the range and geometry in the air stream.
- In the V-2 variant sprayer working regime it is possible to reduce the fan power consumption by 13 kW and thus achieve a better energy performance index of the sprayer.
- Los mejores resultados en el cubrimiento del árbol se obtuvieron en la variante V-2, con una velocidad de salida del aire del ventilador de 22 m/s y un caudal de aire de 56 959 m<sup>3</sup>/h, lo que indica mejores características aerodinámicas en el alcance y geometría en la corriente aire.
- En el régimen de trabajo del pulverizador de la variante V-2 es posible disminuir el consumo de potencia del ventilador en 13 kW y así lograr un mejor índice desempeño energético del pulverizador.

## REFERENCES

- ABRAMOVICH, G.N.; GIRSHOVICH, T.A.; KRASHENINNIKOV, S.I.; SEKUNDOV, A.N.; SMIRNOVA, I.P.: “The theory of turbulent jets”, *Moscow Izdatel Nauka*, 1984.
- 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, octubre de 2005, ISSN: 1537-5110, DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2005.05.018.
- DELELE, M.A.; JAEKEN, P.; DEBAER, C.; BAETENS, K.; ENDALEW, A.M.; RAMON, H.; NICOLAÏ, B.M.; VERBOVEN, P.: “CFD prototyping of an air-assisted orchard sprayer aimed at drift reduction”, *Computers and Electronics in Agriculture*, 55(1): 16–27, 2007, ISSN: 0168-1699, DOI: 10.1016/j.compag.2006.11.002.
- 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 II: Validation for different sprayer types”, *Computers and Electronics in Agriculture*, 71(2): 137-147, mayo de 2010, ISSN: 0168-1699, DOI: 10.1016/j.compag.2009.11.007.
- 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, M.I.; DE LAS CUEVAS, V. MENESES: “Efecto de los parámetros del ventilador de las asperjadoras en la calidad del trabajo”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 13(4): 15-20, 2004, ISSN: 1010-2760.
- 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, marzo de 1971, ISSN: 0021-8634, DOI: 10.1016/S0021-8634(71)80002-1.
- SCHLITING, H.: *Teoría de la capa límite*, Versión en español de la 5ta Edición. Ed. Mc Graw-Hill. ed., 68 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, 2004.
- 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.
- XU, Z.; WALKLATE, P.; RIGBY, S.; RICHARDSON, G.: “Stochastic modelling of turbulent spray dispersion in the near-field of orchard sprayers”, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 74–76(0): 295-304, 1 de abril de 1998, ISSN: 0167-6105, DOI: 10.1016/S0167-6105(98)00026-9.

---

Mario Ignacio Herrera-Prat, Inv. Titular, Ministerio de Educación Superior (MES), municipio Plaza de la Revolución, La Habana, Cuba, e-mail: [herrera@mes.gob.cu](mailto:herrera@mes.gob.cu) ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-9404-6039>

Héctor de las Cuevas-Milán, Inv. Auxiliar, Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, Centro de mecanización Agropecuarias, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba., e-mail: [cuevasm@nauta.cu](mailto:cuevasm@nauta.cu)

Miguel Pelayo García-Fernández, Prof. Ministerio de Educación Superior (MES), municipio de la Revolución, La Habana, Cuba, e-mail: [herrera@mes.gob.cu](mailto:herrera@mes.gob.cu)

Raúl Ernesto Torres-Fuentes, Prof. Ministerio de Educación Superior (MES), municipio Plaza de la Revolución, La Habana, Cuba, e-mail: [herrera@mes.gob.cu](mailto:herrera@mes.gob.cu)

The authors of this work declare no conflict of interests.

This item is under license Reconocimiento-NoComercial de Creative Commons 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0).

The mention of trademarks of specific equipment, instruments or materials is for identification purposes, there being no promotional commitment in relation to them, neither by the authors nor by the publisher.