

Análisis de la aerodinámica del ventilador del pulverizador ASS-800 empleado en frutales

Aerodynamic analysis of the fan of sprayer ASS-800 to fruits

Dr.C. Mario Ignacio Herrera Prat, Dr.C. Armando Eloy García de la Figal Costales,
M.Sc. Héctor de las Cuevas Milán

Universidad Agraria de La Habana Centro de Mecanización Agropecuaria (CEMA), San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

RESUMEN. El estudio del ventilador en los pulverizadores es necesario para lograr la máxima eficacia en los tratamientos a partir de conocer sus características generales y, en particular, las aerodinámicas, así como sus potencialidades. Con el objetivo de fundamentar los regímenes de trabajo del ventilador axial con salida radial VL-765 utilizado en el pulverizador integral SS800 de la TYME, el cual posee tres regulaciones del alabe y se mueve a través de la toma de fuerza del tractor para 450 y 540 rpm, se caracterizó su aerodinámica, determinándose la velocidad del aire a la salida del ventilador, su uniformidad y el caudal. El índice general de uniformidad es de 0,83 y 0,86 en ambos regímenes, adecuados para este tipo de equipo comercial.

Palabras clave: características aerodinámicas; ventilador radial; asperjadoras; frutales.

ABSTRACT. The study of the fan in the spraying machine is necessary to achieve the maximum efficacy in the treatments from knowing his general characteristics and, in particular, aerodynamics, as well as his potentialities. With the objective of basing the régimes of work of the axial fan with radial exit VL-765 used in the integral crusher SS800 of TYME, which possesses three regulations of the one prais and he/she moves through the taking of force of the tractor for 450 and 540 rpm, their aerodynamics was characterized, being determined the speed from the air to the exit of the fan, its uniformity and the flow. The general index of uniformity is of 0,83 and 0,86 in both régimes, appropriate for this type of commercial team.

Keywords: characteristic aerodynamic; radial fan; asperjadoras; fruit-bearing.

INTRODUCCIÓN

Los pulverizadores agrícolas más empleados en la protección de plagas en plantaciones de frutales son, fundamentalmente, los que utilizan la corriente de aire para trasladar la gota de plaguicida al árbol, siendo los que poseen los mejores resultados económicos al cubrir una gran cantidad de área en menos tiempo y utilizan la menor cantidad de agua en L/ha tratada. No obstante, es el método de control de plagas con mayor riesgo a la contaminación del medio, así como puede perjudicar cultivos cercanos, según Di Prinzio (1998) y Val (1988), así como Whitney (1998), en investigaciones de campo. Estos equipos basan su trabajo en fraccionar el líquido plaguicida al hacer circular este a presión por una boquilla, cuyas pequeñas gotas produce un espectro de diferentes diámetros y que se caracteriza por el diámetro medio volumétrico (DMV); estas gotas son trasladadas al árbol mediante la corriente de

aire producida por un ventilador. Los ventiladores axiales con salida radial no logran entregar el aire a una velocidad uniforme a lo ancho de la salida. En el proceso de transporte de la gota influye la masa, así como la velocidad a la que esta viaja, si a este proceso se añade un segundo fraccionamiento por la diferencia de velocidad del aire y de la gota, el proceso de transporte y depósito de la gota en el árbol se hace complejo y producto de ello se produce el fenómeno de deriva al no todas las gotas alcanzar su objetivo. La velocidad del aire en los ventiladores axiales con salida radial utilizados en pulverizadores agrícolas ha sido abordada por diferentes autores que lo relacionan con la eficacia de los tratamientos. Según Herrera *et al.* (2002), que la uniformidad de la distribución de la velocidad del aire a la salida del ventilador influye en las características aerodinámicas de la corriente y de hecho en la deposición. Brazee *et al.* (1981); Xu (1998), han perfeccionado su teoría con el fin de

concebir la corriente de aire más eficiente a partir del diseño de los ventiladores. Constituye una necesidad el estudio de la velocidad del aire, su uniformidad y la distribución de caudal en las salidas, parámetros a tener en cuenta en la selección de estos y de su régimen de trabajo. Por estas razones se analiza el ventilador del pulverizador agrícola TYME SS800.

MÉTODOS

Se empleó como maqueta experimental el pulverizador SS800 TYME, el cual posee un ventilador centrífugo modelo “VL-765” de 750 mm de diámetro, con un canal de salida de 115 o 135 mm de anchos a seleccionar. La determinación de los parámetros a la salida del ventilador se llevó a cabo según la metodología “Caracterización del ventilador de una asperjadora para cítricos en distintos regímenes de trabajo” (Sotolongo y Herrera, 1986). Se evaluó el pulverizador a dos niveles de ro-

tación de la toma de fuerza del tractor: régimen I de trabajo a 450 rpm y régimen de trabajo II a 540 rpm (Figura 1).

Parámetros objeto de medición. Los parámetros evaluados son los siguientes: velocidad del aire ω_0 , caudal de aire Q y uniformidad de la velocidad del aire, η , a la salida del difusor del ventilador.

Velocidad del aire ω . Se mide en un total de 80 puntos de la salida del ventilador como se muestra en el esquema de la Figura 2. En esta figura se muestran las posiciones de los puntos de medición: en total 20 puntos, medidos en cuatro secciones verticales a, b, c y d a lo ancho de la salida y a 15 mm de cada borde los puntos de los extremos; correspondiéndole a cada punto un área rectangular determinada. Para ello se utilizó un tubo “Pitot” conectado a un manómetro diferencial que utiliza alcohol como líquido manométrico, obteniéndose el valor de la presión dinámica en cada punto.

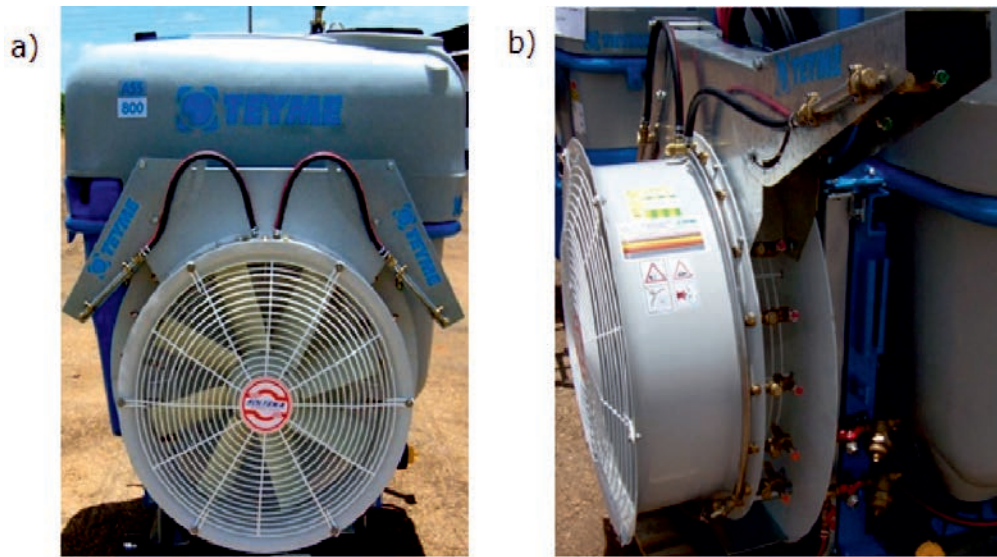


FIGURA 1. Ventilador centrífugo modelo “VL-765” del pulverizador TYME SS800. a) Vista frontal y b) lateral del ventilador.

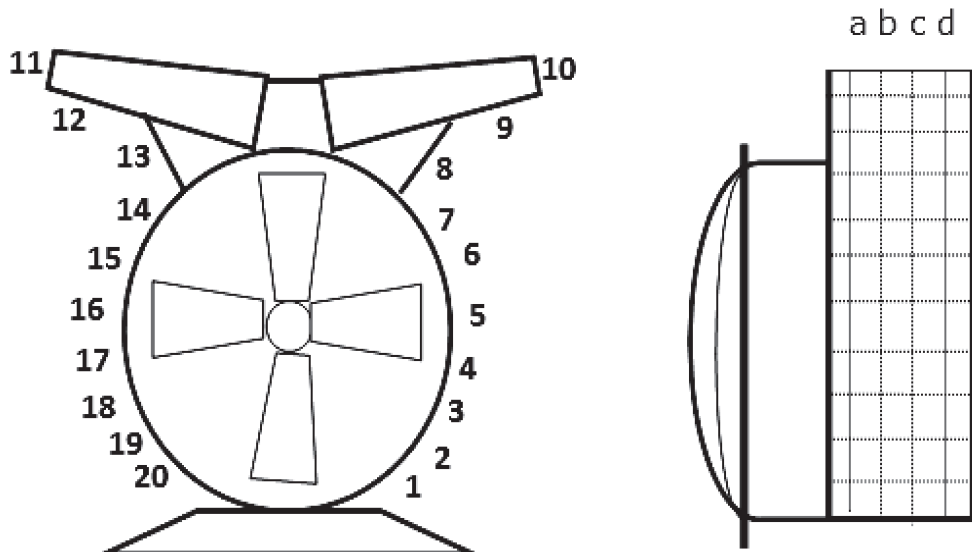


FIGURA 2. Puntos de medición de la velocidad del aire a la salida del ventilador.

La velocidad del aire en cada punto a lo ancho de la salida del ventilador; ω_{0i} , m/s, se determina a partir de la presión dinámica medida, utilizando la expresión:

$$\omega_{0i} = \sqrt{\frac{\rho_m}{\rho_a} 2gh}, \text{ m/s}, \tag{1}$$

donde:

g -aceleración de la gravedad; 9,80665, m/s²; h - altura manométrica o presión, Pa; ρ_m -densidad del líquido manométrico, kg/dm³; ρ_a -densidad del aire, considerando un gas perfecto, kg/dm³.

La densidad del aire se determina por la expresión:

$$\rho_a = \frac{PM}{RT}, \text{ kg/dm}^3, \tag{2}$$

donde:

P -presión atmosférica, Pa; M -masa molecular del aire: 0,02897 kg/mol; R -constante de un gas perfecto: 8 308,65 Pa·dm³/mol·K; T -temperatura del aire, K.

El caudal de aire; Q , m³/s, se determina por la siguiente expresión:

$$Q = \sum_{i=1}^{i=n} a_i \omega_{0i}, \text{ m}^3 / \text{s}, \tag{3}$$

donde:

a_i -áreas de las secciones donde se realizaron las mediciones, m²;

La uniformidad de la velocidad del aire a la salida del ventilador η_1 ; representa el grado de homogeneidad en la distribución de ésta, principalmente debido a factores como el diseño del difusor y se cuantifica mediante la expresión:

$$\eta_1 = \int_0^{B_{0m}} \frac{\omega_0}{\omega_{0m}} \frac{\partial B_{0m}}{B_{0m}}, \tag{4}$$

donde:

ω_{0m} -velocidad máxima del aire en la sección, m/s; B_{0m} -ancho de la salida del difusor, m.

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Los valores de la velocidad del aire a la salida del ventilador ω_0 , m/s, se muestran en los gráficos de las Figuras 3 y 4 para cada punto en la periferia del ventilador y la velocidad promedio para las secciones en los dos regímenes de trabajo estudiados, respectivamente.

En la Figura 3, correspondiente a los resultados de la velocidad del aire en los 20 puntos periféricos, se obtienen valores superiores en todos los puntos correspondientes al régimen de trabajo II (540 rpm) que en el I (450 rpm) en los 20 puntos estudiados; en mismo gráfico se observa una tendencia a una mayor velocidad en la salida derecha -representados por los puntos del 1 al 10-, que en la izquierda -representados por los puntos del 11 al 20-, para ambos regímenes de trabajo. Al analizar la sección derecha se observa que del punto 1 al 9 se

produce un decrecimiento de la velocidad del aire ω_0 en 30 m/s, ya en el punto 10 se muestra un crecimiento de 7 y 5 m/s para los regímenes I (450 rpm) y II (540 rpm), respectivamente. Por otro lado, es diferente el comportamiento de los valores del lado izquierdo de los puntos del 11 al 20, los cuales se mantienen en un rango entre 20 a 30 m/s, para ambos regímenes de trabajo. La distribución de la velocidad del aire ω_0 en el lado derecho es diferente al izquierdo, por lo que la formación de la corriente de aire resultante tendrán diferente aerodinámica en cuanto a posición y alcance y, como consecuencia, la distribución del líquido plaguicida no será uniforme. Esta diferencia es característica de los ventiladores axiales con salida radial, debido a que el sentido de giro del ventilador, al estar cerrada la parte inferior de la salida del aire, expulsa este por la parte derecha con mayor velocidad que la izquierda.

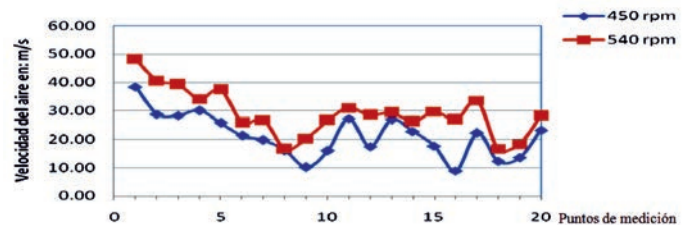


FIGURA 3. Distribución de la velocidad del aire en la periferia de la salida del ventilador modelo VL-765.

En la Tabla 1, se muestran los valores la velocidad promedio del aire ω_0 para los lados derecho e izquierdo; para el régimen I (450 rpm), la velocidad promedio en la derecha es de 23,46 m/s y en la izquierda es de 19,21 m/s, mientras que para el régimen II (540 rpm) es de 31,56 y 26,83 m/s respectivamente, en ambos casos se observa una diferencia de 4 m/s de velocidad mayor en el lado derecho que en el izquierdo, aunque la diferencia promedio es considerada pequeña pudiera pensarse en una corriente con mayor alcance al lado derecho de la salida.

Como la velocidad de salida del ventilador define las características de alcance de la corriente de aire del pulverizador, en el movimiento de trabajo del pulverizador se producen cambios significativos en la aerodinámica de la corriente de aire que provocan un aumento en: la deriva de las gotas; dificultad en la penetración y alcance de los árboles, corroborado por Herrera, (2006) y Salyani (1990), en el efecto de la velocidad del pulverizador y su deposición en la copa de los árboles de cítricos.

TABLA 1. Velocidad promedio del aire en las distintas secciones, m/s

Régimen de trabajo	Lado derecho	Lado izquierdo	Promedio Total
I (450 rpm)	23,46	19,21	21,33
II (540 rpm)	31,56	26,83	29,19

Los valores de la velocidad del aire ω_0 en sentido transversal a la salida del ventilador, a partir de las mediciones en los puntos a, b, c y d par cada punto en la periferia como se muestra en el esquema de la Figura 2. El comportamiento de las velocidades ω_0 en la sección transversal del ventilador (ver Figura 3), representado por los puntos a, b, c y d -el punto “a”

más cercano a los alabes del ventilador y el “d” más alejado de estos-, muestra tendencias similares para los dos regímenes de trabajo I y II, con aumento de valores mayores para la segunda (540 rpm), siendo más significativo en el punto “d”.

Los puntos “a”, más cercano al alabe, para ambos regímenes posee menores valores de la velocidad debido a que estas, inicialmente con direcciones axiales por los alabes del ventilador, deben girar sus direcciones en 90°, buscando la salida radial que le impone el difusor, por lo que la inercia a mantener dichas direcciones axiales iniciales hace que sus resultantes tengan valores menores. Estas van creciendo hasta el punto “b” y del “c” al “d” decrece ligeramente para el régimen I y prácticamente se mantiene para el II. Este comportamiento, propio de los ventiladores axiales con salida radial, en el “VL-765” es poco acentuado, debido a las características aerodinámicas de los difusores y al ancho de salida $B_{om} = 115$ mm, con respecto al caudal de aire que mueve el ventilador. La mayor diferencia del punto “a” al “b” se produce en el régimen de trabajo II (540 rpm).

Los valores totales del caudal de aire del pulverizador Q , m^3/s , que se muestra en la Tabla 2, son de 16 588 y 22 373 m^3/s , para los regímenes de trabajo I (450 rpm) II (540 rpm), respectivamente. En el régimen de trabajo I (450 rpm) el caudal se distribuye un 55% en la parte derecha del ventilador y un 45% en la izquierda y en el régimen II (540 rpm) se divide un 54 y un 46% del caudal en los lados derecho e izquierdo, respectivamente, siendo similares para ambos regímenes de trabajo, lo que ratifica que es propio del diseño de los difusores de los ventiladores axiales con salida radial. Los valores de Q , m^3/s se diferencian de un 10 y 8% entre la salida derecha e izquierda del ventilador. Resultados similares reporta Herrera (2007), en el análisis de la aerodinámica su en plantaciones de café del pulverizador integral HATSUTA.

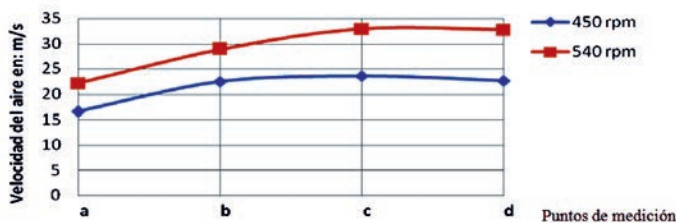


FIGURA 4. Velocidad promedio del aire en los perfiles transversales de la salida del ventilador modelo VL-265.

TABLA 2. Caudal de aire Q en las distintas secciones de salida, m^3/s

Régimen de trabajo	Lado derecho	Lado izquierdo	Caudal Total
I (450 rpm)	9 121	7 467	16 588
II (540 rpm)	11 939	10 434	22 373

Según la teoría del chorro turbulento de Abramovich (1963), la formación de la corriente del aire del pulverizador depende de la uniformidad de la distribución de la velocidad a la salida del difusor del ventilador η_v . Para el ventilador modelo “VL-765”,

los valores de η_v en los puntos de la parte derecha del 1 al 10 se mantienen en un rango de 0,75 a 0,98 para ambos regímenes de trabajo, mientras que en la parte izquierda, correspondiente con los puntos del 11 al 20, el rango es de 0,62 a 0,95. Se observa una diferencia entre los regímenes de trabajo con una tendencia a valores de mayor uniformidad en el régimen “II” (540 rpm). En los puntos 1 y 20 la uniformidad η_v alcanza sus mayores valores debido a que el aire que no sale de forma radial por la zona inferior se obliga a salir por estos puntos, llenando estos y obteniendo valores de uniformidad cercanos a 1.

En la Tabla 3 se relacionan los valores promedios de la uniformidad de la velocidad del aire del ventilador η_v en el pulverizador, para los dos regímenes y en los lados derecho e izquierdo del ventilador. La uniformidad η_v indica la calidad de la distribución de la velocidad del aire a la salida del difusor. Este parámetro influye en la aerodinámica de la corriente de aire del ventilador, manteniéndose sus valores para el lado derecho se mantienen en un intervalo de 0,88 a 0,89 en los regímenes de trabajo I y II y en el lado izquierdo con valores menores: de 0,74 y 0,84. En general, se mantienen índices de uniformidad de la velocidad del aire del ventilador η_v de 0,83 a 0,86 en ambos regímenes, los cuales son adecuados para este tipo de equipo comercial. El sistema secundario del pulverizador analizado para la fragmentación de la gota se basa en la diferencia de velocidad entre el aire y el líquido entregado por la boquilla, por lo que la uniformidad en la distribución de la velocidad del aire se hace imprescindible para lograr un fraccionamiento uniforme de las gotas (Figura 5).

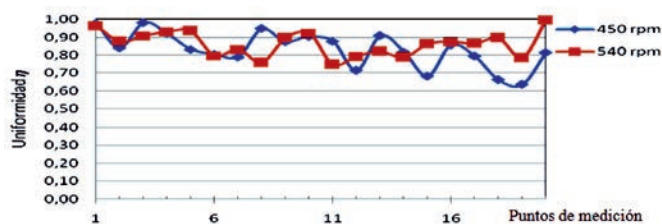


FIGURA 5. Uniformidad de la velocidad de salida del ventilador η_v .

TABLA 3. Uniformidad de la velocidad del aire η_v en las distintas secciones

Régimen de trabajo	Lado derecho	Lado izquierdo	Promedio Total
(450 rpm)	0,89	0,78	0,83
II (540 rpm)	0,88	0,84	0,86

Los parámetros analizados a la salida del ventilador en el pulverizador: ancho de salida del difusor B_{om} , velocidad de salida del aire ω_0 y su uniformidad de distribución η_v , son los que permiten caracterizar el desempeño de los pulverizadores ya que deciden en la formación de la corriente de aire y consecuentemente, en el alcance y la calidad del cubrimiento del pulverizador. El conocimiento de estos permite la utilización más eficiente de los pulverizadores, lo cual está precisado por Herrera (1999), relacionando los parámetros del ventilador con la calidad de la aspersión, mediante modelos matemáticos y sobre la base de los resultados experimentales, y demuestra la

responsabilidad de la aerodinámica del ventilador en el cubrimiento de las plantas.

CONCLUSIONES

- La velocidad promedio del aire en la salida “ ω_0 ” en el régimen I para los lados derecho e izquierdo es de 23,46 m/s y 19,21 m/s, mientras que para el régimen II es de 31,56 y 26,83 m/s, en ambos casos se observa una diferencia de 4 m/s de velocidad mayor en el lado derecho que en el izquierdo.
- El ventilador “VL-765” del pulverizador SS800 alcanza un caudal de aire de 16 588 m³/s en el régimen de trabajo I (450 rpm) y en el régimen “II” (540 rpm) el caudal de aire producido es de 22 373 m³/s.
- En el régimen de trabajo I (450 rpm) el caudal se distribuye un 55% en la parte derecha del ventilador y un 45% en la izquierda y en el régimen II (540 rpm) se divide un 54 y un 46% del caudal en los lados derecho e izquierdo respectivamente, con diferencias de un 10 y 8% entre la salida derecha e izquierda del ventilador.
- La uniformidad η_l en el lado derecho del ventilador es de 0,88 a 0,89 en los regímenes de trabajo I y II respectivamente y en el lado izquierdo es menor en ambos con valores de 0,74 y 0,84; el índice general de uniformidad es de 0,83 y 0,86 en ambos regímenes, adecuados para este tipo de equipo comercial.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABRAMOVICH, G.N.: *The Theory of Turbulent jets*, Fizmatgiz, 1960, English translation, edited by L. H. Schindel, M.I.T. Press : pp. 1-671. USA, 1963.
2. BRAZEE, R.D.; FOX, R.D.; REICHARD, D.L. & HALL, F.R.: “Turbulent Jet Theory Applied to air sprayers”. *Transactions of the Asae*, 24 (2): 266-272, 1981.
3. 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.
4. HERRERA, P. M.I.: *Determinación de los parámetros cinemáticos y geométricos del ventilador de las asperjadoras para los cítricos en Cuba*, 133pp., **Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas)**, Universidad Agraria de La Habana, Cuba, 1999.
5. HERRERA, P. M.I.: *Aerodinámica de los pulverizadores hidroneumaticos*, Relatório apresentado à CAPES e à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, para a obtenção do Título de Pós-doutorado. Viçosa, Minas Gerais, Brasil, 2004.
6. HERRERA, M.I.; M. TEIXEIRA; J. RODRIGUEZ: “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.
7. HERRERA, P. M.I.; E. RAMOS; H. DE LAS CUEVAS; C.M. ALVES 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.
8. SALYANI, M. & WITNEY, J.D.: “Ground speed effect on spray deposition inside citrus trees. AGENG 90”, *Transaction of the ASAE*, 33 (2): 361-366, 1990.
9. SOTOLONGO, I.; M. HERRERA: “Caracterización de la corriente de aire de una asperjadora de ventilador en el plano horizontal”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 0 (1): 1-12, 1986.
10. WHITNEY, J. D.; M. SALYANI; B. CHURCHILL; L. KNAPP; O. WHITESIDE & C. LITTELL: “A field investigation to examine the effects of sprayer type, ground speed and volume rate on spray deposition in Florida Citrus”, *Journal of Agricultural Engineering Research*, (42): 275-83, 1989.
11. XU, Z. G.; J. WALKLATE; G. RIGBY & M. RICHARDSON: “Stochastic Modelling of Turbulent Spray Dispersion in the Near-field of Orchard Sprayers”, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 74-76:, 295-300, 1998.
12. VAL, M. L.; F. JUSTE; I. FORNES; O. VILLOLDO; R. IBÁÑEZ: Penetración y tamaño de gota en hoja de distintos sistemas de distribución de Productos fitosanitarios en cultivos cítricos. En: **CONFERENCIA INTERNACIONAL DE MECANIZACIÓN AGRARIA**, 20., Zaragoza, 1988, pp. 201-207, Asociación Nacional de Ingenieros Agrónomos, Zaragoza, España, 1988.

Recibido: 12 de septiembre de 2012.

Aprobado: 24 de julio de 2013.

Mario Ignacio Herrera Prat, Universidad Agraria de La Habana Centro de Mecanización Agropecuaria (CEMA), San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, Correo electrónico: herrera@mes.gob.cu

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