

Eficiencia de pulverizadores hidroneumáticos de uso fitosanitario en la fruticultura cuyana (Argentina)

Efficiency of air assisted sprayer of phytosanitary use in fruitgrowing in Cuyo (Argentina)

Marcos Adrian Montoya ^{1,2}, Alejandro Omar Ambrogetti ¹, Raúl Feliciano Del Monte ¹

Originales: *Recepción:* 02/07/2016 - *Aceptación:* 27/04/2017

Nota científica

RESUMEN

La protección fitosanitaria de los montes frutales se efectúa principalmente con equipos hidroneumáticos. Debido a la ausencia de estudios actuales, se planteó el objetivo de evaluar el desempeño de los principales equipos utilizados en montes frutales en Cuyo (Argentina). Las mediciones se realizaron a régimen estandarizado de la toma posterior de potencia del tractor. Se evaluó el caudal de aire en túnel de viento y la distribución espacial de la velocidad de aire con anemómetros de hilo caliente. La determinación de la distribución vertical de pulverizados se realizó en banco de lamelas. Complementariamente se determinó la demanda de potencia. Los caudales de aire variaron entre 257,49 m³.min⁻¹ y 485,17 m³.min⁻¹. Los equipos B y C en ambos accionamientos presentaron asimetría en la distribución de aire. La distribución vertical de pulverizados presentó simetría entre el sector izquierdo y derecho, excepto para el equipo B en sus dos accionamientos y E alta. La demanda de potencia alternó entre 11,96 kW y 31,17 kW. Los equipos más eficientes resultaron A en el único accionamiento disponible, D baja y alta y E baja. Los equipos difieren en sus capacidades aerodinámicas, tanto en caudal de aire erogado como en su distribución bilateral y en la demanda de potencia.

Palabras claves

pulverizadora hidroneumática • potencia • caudal de aire • eficiencia

1 Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, San Martín 3853, Luján de Cuyo, Mendoza. 5507. Argentina. montoya.marcos@inta.gob.ar

2 Universidad Nacional de Cuyo. Facultad de Ciencias Agrarias. Departamento de Ingeniería Agrícola. Alte. Brown 500, Chacras de Coria, Mendoza, Argentina. M5528AHB.

ABSTRACT

Phytosanitary protection of fruit crops is mainly done with axial fan sprayers. Due to lack of up-dated studies, the objective was to assess the performance of the main hydropneumatic spraying units used for phytosanitary treatment of fruit plants in Cuyo (Argentina). Measurements were taken at a standardized rate from the rear PTO (power take off) of the tractor. The air flow generated by the fan was assessed in a wind tunnel and the spatial distribution of air velocity was evaluated with a hot wire anemometer. The determination of vertical spray distribution was done with a lamellate patternator. Power demands were also determined. Air flows ranged between $257.49 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ and $485.17 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$. Spraying units B and C showed asymmetric air distribution. Vertical spray distribution showed symmetry between the left and right sections, except for unit of equipment B in both working modes and E high. Power demand alternated between 11.96 kW and 31.17 kW. The most efficient units were A in its only available working mode D low and high and E low. Hydro pneumatic units have different aerodynamic capacities, both in released air flow and bilateral distribution and they have different power demands.

Keywords

air assisted sprayer • power • air flow rate • efficiency

INTRODUCCIÓN

El control de plagas en los cultivos constituye una preocupación constante para los agricultores, debido a la implicancia socioeconómica de la actividad, por un lado la agresión al medio ambiente y por otro la preocupación en disminuir las pérdidas y hacer rentable la producción (5). La protección fitosanitaria de los cultivos donde el objetivo a tratar es un volumen de vegetación se efectúa principalmente con equipos con doble circuito agua-aire (equipos hidroneumáticos) (2, 13, 19). El equipo pulverizador de ventilador axial es el diseño predominante en montes frutales por ser simple, robusto y comparativamente de bajo costo de compra y operación, además de ser efectivo en un amplio rango de tipos de frutales y de condiciones operativas (6).

La corriente de aire generada por el ventilador de un equipo de uso en frutales

juega un rol importante en el transporte y la penetración del pulverizado en la canopia del cultivo (9, 26). Los estudios de eficiencia de equipos de diferentes sistemas de aplicación han permitido corroborar las ventajas de aquellos de corriente de aire (9, 10).

Para conseguir un buen ajuste del equipo de tratamientos deben conocerse previamente: distribución de aire y líquido a diferentes alturas (20). Según Ade (1986), los principales elementos que caracterizan las prestaciones de un ventilador axial para máquinas pulverizadoras son: la cantidad de aire erogada en la unidad de tiempo, la velocidad de aire en correspondencia con las boquillas y la potencia absorbida a la toma posterior de potencia del tractor (TPP).

Algunos autores indican que las máquinas pulverizadoras con ventilador

axial generan distribuciones asimétricas de líquido (13, 28) y de aire (13, 17, 28) entre los sectores izquierdo y derecho de pulverización.

Debido a que las máquinas utilizadas en frutales cuentan con ventiladores de diferente tipo, con diámetros que oscilan entre 0,70 y 1,10 m, álabes con diferentes espesores, curvaturas y longitudes, en cantidad de 5 a 12 y con velocidades de regímenes variables, existen considerables diferencias en sus prestaciones (11). La gran variedad de marcas y modelos de máquinas pulverizadoras existentes, junto con la ausencia de adecuados manuales o guías de calibración son a menudo la causa de un escaso conocimiento técnico por parte del agricultor (7). Por la ausencia de estudios actuales en la región de Cuyo y el avance de la tecnología, resulta necesario realizar una evaluación de los equipos pulverizadores hidroneumáticos utilizados en montes frutales en dicha región para conocer su desempeño.

Hipótesis

Los equipos pulverizadores para frutales presentan simetría en la distribución bilateral de aire y de pulverizados.

Objetivos

Evaluar la velocidad y distribución de aire de los ventiladores.

Estudiar la distribución del pulverizado.

Verificar el requerimiento de potencia.

Determinar la eficiencia de cada equipo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la evaluación comparativa se utilizaron equipos hidroneumáticos nuevos, comercializados en el año 2008,

de las principales empresas de máquinas pulverizadoras en la región de Cuyo, Argentina. Los ensayos se realizaron en un espacio exterior, sobre una superficie horizontal y lisa, para evitar las posibles alteraciones que pudieran producirse en un local cerrado.

Antes de iniciar los ensayos de medida de aire y de distribución vertical de la pulverización, se establecieron las condiciones de funcionamiento del equipo pulverizador a ensayar, fijando la orientación de las boquillas en el arco de distribución en forma simétrica y acorde a un árbol ideal de 4,5 m de altura, la orientación de los álabes del ventilador y la relación de multiplicación del ventilador. Los parámetros a medir fueron analizados a un régimen de trabajo de la TPP del tractor de $540 \text{ vueltas.min}^{-1}$ ($56,55 \text{ rad.s}^{-1}$) en la relación de transmisión alta y baja entre la TPP y el ventilador, si el equipo lo permitía. Para la evaluación de régimen de trabajo del tractor y del ventilador de la máquina pulverizadora se utilizó un tacómetro láser (Graigar, DT-2857, Shenzhen).

Las boquillas fueron operadas a una presión de $2 \cdot 10^6 \text{ Pa}$ (20 bar) que se corroboró mediante el manómetro de la máquina. Se utilizaron pastillas de cono hueco con un caudal nominal de 2880 ml.min^{-1} , según dato del fabricante. Para la evaluación del caudal real erogado por boquilla se cuantificó la descarga usando probetas conectados a cada pico con cañerías flexibles midiendo la cantidad de agua colectada después de un minuto. Las determinaciones se realizaron mientras funcionaban ambos arcos de pulverización y las mediciones comenzaron a realizarse después que la máquina llegó al régimen establecido (12).

La demanda de potencia de la TPP fue medido por medio de un torquímetro (420, Datum Electronics, Isle of Wight),

inserto en la unión cardánica entre la TPP y el eje de la bomba de la máquina pulverizadora. Las determinaciones se realizaron manteniendo la transmisión al ventilador y al agitador y con la bomba trabajando a la menor presión posible.

Para la evaluación de velocidad y caudal de aire se utilizó un túnel de viento construido según la norma IRAM 19004:1996, para ensayos de ventiladores. Para realizar determinaciones complementarias se utilizaron un tubo de Pitot (166-6-CF, Dwyer, Michigan), conectado a un manómetro digital con un rango de medición de 0 a 2,49 kPa (475-0-FM, Dwyer, Michigan), un psicrómetro y un barómetro (Skywatch Geos n° 11, JDC Instruments, Yverdon-les-Bains). El tubo de pitot se colocó paralelo al sentido de circulación del aire, en el centro del túnel y enfrentado al flujo de aire (15).

La distribución vertical del pulverizado fue cuantificada mediante un estudio de asperjado en banco de lamelas de 4500 mm de altura y 1600 mm de ancho de recepción de pulverizados. La altura total del banco está dividida en 18 cuerpos de recolección de diez lamelas cada uno (16).

La forma de las lamelas (deshumidificadores de aire) permite la retención del pulverizado y el posterior transporte favorecido por una pendiente del 5% respecto de la horizontal. Cada cuerpo recolecta el caldo fitosanitario y lo envía por desnivel a una probeta de 2000 cm³. Para la evaluación de la distribución vertical de pulverizados, se colocó el equipo hidroneumático a la mitad de la distancia entre hileras del cultivo de referencia (17), y se hizo funcionar durante noventa segundos. La distribución se expresó como porcentaje de líquido recolectado por sitio de censado.

La distribución de la velocidad del aire suministrada por el ventilador fue determinada con el equipo pulverizador fijo. Las determinaciones se realizaron con anemómetros ubicados a 1, 2, 3, 4 y 5 m de distancia del eje del ventilador. Estas mismas distancias se tomaron verticalmente desde el nivel del suelo. Se utilizó un anemómetro de hilo caliente (413-3, Dwyer, Michigan), cuya apertura fue dirigida hacia el centro del ventilador.

El equipo pulverizador fue colocado de tal forma que el aire fuera descargado paralelo a la estación de medición (24). Como el pulverizado puede tener inferencia en el funcionamiento del anemómetro, el líquido no fue pulverizado durante la evaluación de velocidad de aire.

La evaluación se realizó mediante la prueba de t apareada comparando los registros obtenidos correspondientes a sitios análogos de ambos sectores de aventado (izquierda y derecha) de cada equipo pulverizador

En la tabla 1 (pág. 347), se presentan las características de los equipos utilizados en los ensayos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El caudal de las boquillas de los equipos evaluados presenta una variación inferior a $\pm 5\%$ entre ambos sectores (tabla 2, pág. 348). En el 60% de los equipos evaluados existe al menos una boquilla que eroga caudales que exceden en $\pm 10\%$ los caudales indicados por el fabricante. En España se constató que dos de cada tres equipos evaluados presentaban igual heterogeneidad de pulverizado (25).

Tabla 1. Características de los equipos pulverizadores.

Table 1. Sprayers characteristics.

Equipo Pulverizador	Diámetro de ventilador (mm)	Nº de álabes	Longitud de álabes (mm)	Área de toma de aire (m ²)	Área de salida de aire total (m ²)
A	850	10	260	0,608	0,403
B baja	800	8	300	0,528	0,273
B alta					
C baja	800	7	200	0,442	0,212
C alta					
D baja	740	8	270	0,478	0,315
D alta					
E baja	830	8	230	0,694	0,336
E alta					

Equipo Pulverizador	Presencia de deflectores móviles	Nº de boquillas	Relación de transmisión entre toma de fuerza y ventilador	Régimen de ventilador (vueltas.min ⁻¹)
A	Si	18	1:3,16	1708
B baja	No	14	1:3,46	1870
B alta			1:4,55	2457
C baja	No	14	1:3,87	2092
C alta			1:4,94	2667
D baja	No	14	1:3,70	2000
D alta			1:4,53	2444
E baja	Si	16	1:2,95	1591
E alta			1:3,84	2071

En la figura 1a (pág. 348), se presentan los resultados correspondientes a la evaluación de caudal de aire de los equipos. Se representan los valores medios y el error estándar para cada uno de los equipos. El equipo C baja y el equipo E baja son los que menor caudal de aire erogan (257,49±8,42 y 266,21±4,91 m³.min⁻¹, respectivamente), mientras que el equipo A es el que eroga un mayor caudal de aire (485,17±6,30 m³.min⁻¹).

Balsari y Oggero (2001) encontraron caudales entre 367 y 667 m³.min⁻¹

(a 500 vueltas.min⁻¹ de la TPP), valores superiores a los obtenidos con los equipos B baja, C baja, D baja, E baja y C alta.

Estos caudales obtenidos se encuentran dentro del rango de caudales de aire encontrados en España que varían entre 200 m³.min⁻¹ y 833 m³.min⁻¹ (23). Pezzi y Rondelli (2000), ensayando un equipo pulverizador con un ventilador de 600 mm, obtuvieron una generación de aire de 432 m³.min⁻¹ con una velocidad de giro de 500 vueltas.min⁻¹ de la TPP.

Tabla 2. Caudales promedio de líquido erogado y su variación.
Table 2. Mean liquid flow rate and his variation.

Equipo	Caudalimetría (ml.min ⁻¹)		Variación (%) ^(*)	Coeficiente de Variación % ^(**)		Boquillas que exceden ±10% el caudal nominal ^(**)	
	Sectores de Asperjado			Izquierdo	Derecho	N°	%
	Izquierdo	Derecho					
A	2875,56	2758,52	4,07	4,43	3,25	0	0,0
B	2722,86	2853,33	4,57	14,42	1,21	1	7,1
C	2740,95	2841,90	3,55	2,63	5,65	1	7,1
D	2916,19	2888,57	0,95	2,06	2,26	0	0,0
E	2675,00	2741,67	2,43	3,52	3,41	2	12,5

(*) Variación (%) = (a-b).100/a; siendo a el valor de caudalimetría mayor y b el valor menor, para cada accionamiento.

(**) Caudal nominal: 2880 ml.min⁻¹.

(*) Variation (%) = (a-b).100/a; being a the highest value and b the lowest value, for each working mode.

(**) Nominal flow: 2880 ml.min⁻¹.

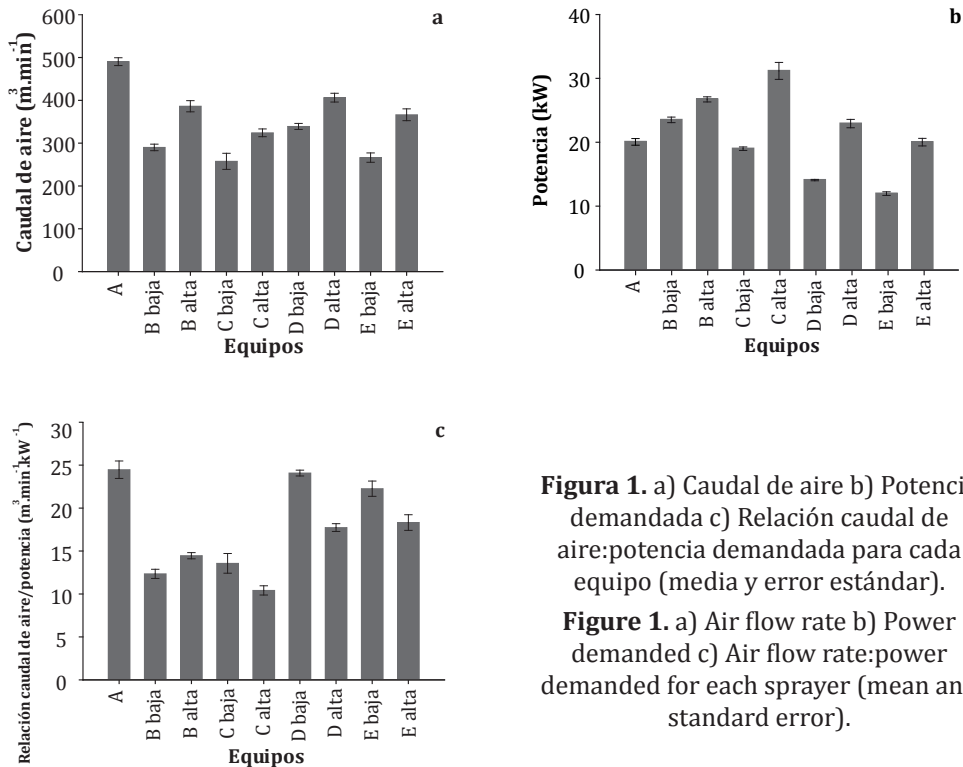


Figura 1. a) Caudal de aire b) Potencia demandada c) Relación caudal de aire:potencia demandada para cada equipo (media y error estándar).

Figure 1. a) Air flow rate b) Power demanded c) Air flow rate:power demanded for each sprayer (mean and standard error).

Considerando los ensayos locales, el rango de valores encontrado en este ensayo es similar al hallado por Del Monte *et al.* (datos no publicados) desde $300 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ a $700 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ para equipos utilizados en fruticultura. Por el contrario, los caudales son inferiores a los presentados por Di Prinzio (1989) quien indica valores entre $593 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ y $719 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$.

Considerando el intervalo de caudales de aire entre $330 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ y $500 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ propuesto como óptimo por Balsari *et al.* (2007) para frutales, existen algunos equipos que se ubican fuera del rango por presentar valores inferiores (B baja, C baja, C alta y E baja). Estos equipos no serían adecuados para la realización de aplicaciones fitosanitarias.

En la figura 1b (pág. 348), se presentan los resultados correspondientes al análisis de potencia demandada (media y error estándar).

El equipo E baja es el que menor potencia demanda ($11,96 \pm 0,13 \text{ kW}$), mientras que el equipo C alta es el más demandante de potencia ($31,17 \pm 0,59 \text{ kW}$). Se observa una diferencia de aproximadamente 20 kW entre los equipos menos demandantes de potencia (E baja y D baja) y el equipo C alta. La potencia demandada se encuentra entre los valores hallados por Balsari y Oggero (2001), quienes obtienen valores entre $5,97$ y $34,3 \text{ kW}$ (a $500 \text{ vueltas} \cdot \text{min}^{-1}$ de la TPP) y, mayoritariamente, con los resultados hallados por Planas y Fillat (1991) en España, quienes presentan valores entre $14,9$ y $35,05 \text{ kW}$.

En la figura 1c (pág. 348), se presentan los resultados correspondientes a la relación entre caudal de aire y potencia demandada. Se grafican los valores medios y el error estándar para cada uno de los equipos.

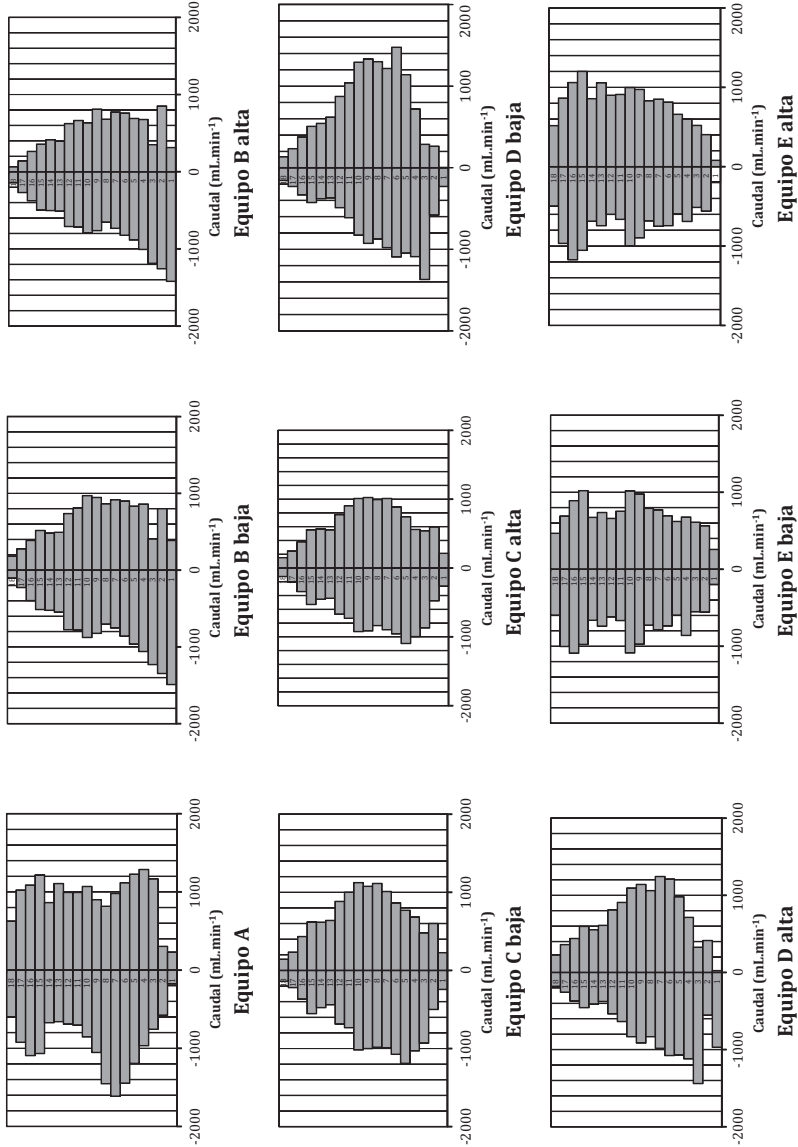
Los equipos que más eficientemente aprovechan la potencia para generar las corrientes de aire son A, D baja y E baja ($24,17 \pm 0,49 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kW}^{-1}$, $24,08 \pm 0,15 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kW}^{-1}$ y $22,26 \pm 0,40 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kW}^{-1}$, respectivamente), mientras que los equipos C alta y B baja son los que menos eficientemente utilizan la potencia absorbida ($10,41 \pm 0,24 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kW}^{-1}$ y $12,35 \pm 0,24 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kW}^{-1}$, respectivamente).

En la figura 2 (pág. 350), se presentan los gráficos sobre resultados de recolección de pulverizados en altura en banco de lamelas para todos los equipos evaluados y los regímenes establecidos.

La prueba de t para datos apareados indica que los equipos B en sus dos accionamientos y E alta presentan asimetría significativa ($\alpha \leq 0,05$) en su distribución vertical de pulverizados, para ambos sectores de recepción (tabla 3, pág. 351). Coincidiendo con estos resultados, Giles *et al.* (1989) y Vujčić *et al.* (2015), indican que las máquinas pulverizadoras con ventiladores axiales generan distribuciones asimétricas de líquido.

Los resultados obtenidos con los equipos evaluados demuestran gran variabilidad respecto de los sectores con mayor recolección de líquido.

Travis *et al.* (1987) trabajando con manzanos medianos y pequeños de canopias densas y Magdalena *et al.* (1996) utilizando diferentes máquinas pulverizadoras en perales, obtuvieron menores recolecciones en la zona alta. En ensayos de laboratorio con banco de lamelas, Holownicki *et al.* (2000), encontraron la misma tendencia de valores más bajos en la zona alta con diferentes máquinas pulverizadoras; estos resultados concuerdan con los obtenidos con los equipos B, C y D.



(*) Los valores del sector izquierdo son presentados con signo negativo para favorecer la visualización.

(*) The left values are presented with a negative sign to favor visualization.

Figura 2. Distribución vertical de pulverizado en banco de lamelas de cada equipo a distintos accionamientos de la TPP (*).

Figure 2. Vertical spray distribution in lamellae patternator of each sprayer at different drives of the PTO (*).

Tabla 3. Eficiencia de pulverizadores hidroneumáticos.

Table 3. Efficiency of air assisted sprayer.

Equipo	Relación caudal de aire/potencia	Distribución bilateral hidroneumática	
		Simetría de distribución de aire (*)	Simetría de distribución de pulverizado (*)
A	24,17	Sí (p=0,2938)	Sí (p=0,4750)
B baja	12,35	No (p<0,0001)	No (p=0,0053)
B alta	14,46	No (p<0,0001)	No (p<0,0001)
C baja	13,56	No (p<0,0001)	Sí (p=0,8999)
C alta	10,41	No (p<0,0001)	Sí (p=0,9618)
D baja	24,08	Sí (p=0,7075)	Sí (p=0,1117)
D alta	17,73	Sí (p=0,9429)	Sí (p=0,7199)
E baja	22,26	Sí (p=0,7439)	Sí (p=0,1055)
E alta	18,32	Sí (p=0,5654)	No (p=0,0124)

(*) Simetría = diferencia significativa para prueba de t apareada, $\alpha \leq 0,05$ entre los sectores izquierdo y derecho. Entre paréntesis se presentan valores de p.

(*) Symmetry = significant difference for paired t test, $\alpha \leq 0.05$ between the left and right sectors. In parentheses p-values are presented.

Cunningham y Harden (1998), encontraron menores depósitos en la zona central y mayores en la zona baja, pulverizando mandarinos con volúmenes de caldo de pulverización entre 1000 y 8000 L.ha⁻¹. Este perfil de distribución de pulverizados no coincide con ninguno de los equipos ensayados.

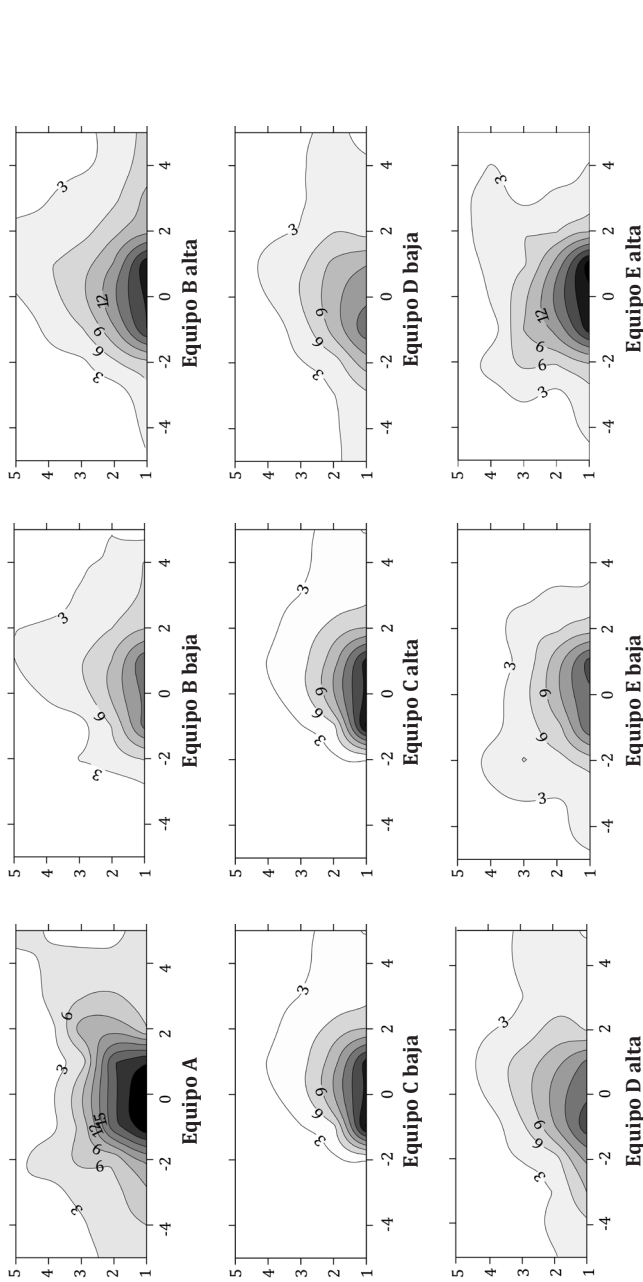
En la figura 3 (pág. 352), se presentan los perfiles anemométricos de los diferentes equipos evaluados. Los patrones de distribución de aire para cada equipo en particular utilizando diferentes accionamientos son similares entre sí. Los mismos resultados fueron encontrados por Pergher y Petris (2008), utilizando una máquina pulverizadora para viñedos.

En la tabla 3 se presentan los datos de evaluación de la velocidad de aire.

Los equipos que presentan diferencias estadísticas significativas entre ambos sectores son B y C en todos sus accionamientos; Magdalena (2003), también encuentra asimetría entre los sectores izquierdo y derecho del ventilador de una máquina pulverizadora de frutales; esta misma asimetría es descrita por Giles *et al.* (1989) y por Vujčić *et al.* (2015), para máquinas pulverizadoras con ventiladores axiales.

Para evaluar la eficiencia de los equipos se tuvo en cuenta la variabilidad de la distribución del aire y del líquido a ambos lados del equipo pulverizador y la potencia requerida para el movimiento de una masa de aire (considerando el umbral en 15 m³.min⁻¹.kW⁻¹).

En la tabla 3 se presentan los valores de eficiencia del ventilador. Los equipos de mayor eficiencia son A, D baja, D alta y E baja.



(*) Los valores colocados sobre las líneas indican velocidad de aire en $m.s^{-1}$. Los valores del sector izquierdo son presentados con signo negativo para favorecer la visualización.

(*) The values above the lines indicate air velocity in $m.s^{-1}$. The values of the left sector are presented as negative to favor the visualization.

Figura 3. Perfil anemométrico de cada equipo a distintos accionamientos de la TPP (*).

Figure 3. Anemometer profile of each sprayer at different drives of the PTO (*).

CONCLUSIONES

La existencia de diferentes fabricantes de pulverizadores genera equipos con características constructivas diversas y desiguales rendimientos.

Los equipos presentan diferentes capacidades aerodinámicas, tanto en caudal de aire erogado como en su distribución bilateral. Sin embargo, la distribución simétrica de la corriente de aire no produce siempre una distribución de pulverizados simétrica.

El conocimiento de la distribución de líquido en altura permite la elección del equipo más adecuado a la geometría del cultivo a tratar y/o regular el caudal de las boquillas y la deflexión de aire.

Los equipos pulverizadores difieren en la demanda de potencia como también en su eficiencia para generar aire.

El conocimiento de los parámetros aerodinámicos y de distribución de los pulverizados de una atomizadora, puede ser de utilidad para que los fabricantes mejoren sus diseños con el objetivo de aumentar la eficiencia de las aplicaciones fitosanitarias.

Sería conveniente que los fabricantes de pulverizadoras entregaran información técnica respecto de caudales de aire y distribución de aire y pulverizado de los equipos comercializados, para que los usuarios puedan disponer de herramientas para seleccionar el equipo que más se adapte a su cultivo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Ade, G. 1986. Prestazioni dei ventilatori assiali per le irroratrici. Atti Giornate Fitopatologiche: Cooperativa libreria universitaria editrice Bologna.
2. Ambrogetti, A. O.; Uliarte, E. M.; Montoya, M. A.; Haist, W.; del Monte, R. F. 2016. Evaluación de un panel para recuperación de deriva en aplicaciones fitosanitarias en viñedos. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina. 48(2): 83-94.
3. Balsari, P.; Oggero, G. 2001. La Certificazione Enama delle irroratrici per i trattamenti fitoiatrici alla vite: metodologia di prova e risultati. Mondo Macchina. 10(5).
4. Balsari, P.; Oggero, G.; Marrucco, P. 2007. Proposal of a Guide for Sprayers Calibration. Second European Workshop on Standardized Procedure for the Inspection of Sprayers - SPISE 2. Straelen.
5. Brazee, R.; Fox, R.; Reichard, D.; Hall, F. 1981. Turbulent jet theory applied to air sprayers. Transactions of the ASAE. 24(2).
6. Cross, J. V.; Walklate, P. J.; Murray, R. A.; Richardson, G. M. 2001. 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.
7. Cross, J. V.; Walklate, P. J.; Murray, R. A.; Richardson, G. M. 2003. Spray deposits and losses in different sized apple trees from an axial fan orchard sprayer: 3. Effects of air volumetric flow rate. Crop Protection. 22(2): 381-394.
8. Cunningham, G.; Harden, J. 1998. Reducing spray volumes applied to mature citrus trees. Crop Protection. 17(4).
9. Del Monte, R. 1978. Equipo experimental neumático adaptado para tratamientos fitosanitarios en horticultura. IDIA. 361-366: 121-133.

10. Del Monte, R.; Ambrogetti, A.; Becerra, V. 1996. Evaluación de los sistemas neumático y neumático-electrostático en la aplicación de pesticidas en viticultura. *Horticultura argentina*. 15(39).
11. Destailats, E. 2006. Pulverizadoras para montes frutales. Banfield, R. y C. Editora. 120 p.
12. Di Prinzi, A. P. 1989. Evaluación de la energía utilizada por dos máquinas pulverizadoras de chorro transportado. Tesis de Maestría en Mecanización Agraria. Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de La Plata. 106 p.
13. Giles, D. K.; Delwiche, M. J.; Dodd, R. B. 1989. Spatial distribution of spray deposition from an air-carrier sprayer. *American Society of Agricultural Engineers*. 32(3): 807-811.
14. Holownicki, R.; Doruchowski, G.; Godyń, A.; Swiechowski, W. 2000. Variation of spray deposit and loss with air-jet directions applied in orchards. *J. Agric. Engng. Res.* 77(2): 129-136.
15. IRAM. 1996. Ventiladores - Ensayos - Método de Laboratorio.
16. Kümmel, K.; Göhlich, H.; Westphal, O. 1991. Development of practice-oriented control test methods for orchard spray machines by means of a vertical test stand, en *Air-assisted spraying in crop protection*. Lavers, A.; Herrington, P.; Southcombe, E. S. E., Eds. BCPC: Swansea. UK. p. 27-33.
17. Magdalena, J. C. 2003. Efecto de la utilización de pulverizadores de flujo transversal e hidroneumático tradicional sobre la calidad de los tratamientos fitosanitarios en manzanos (*Malus domestica*, Borkh). Tesis de Doctorado. Mecanización y Tecnología Agraria. Universidad Politécnica de Valencia. 109 p.
18. Magdalena, J. C.; Di Prinzi, A. P.; Behmer, S. N.; Ayala, C. D.; Veronesi, A. 1996. Análisis de la distribución de depósitos utilizando tres tipos de pulverizadoras frutícolas en perales, in *IV Congreso Argentino y II Congreso Internacional de Ingeniería Rural*: Neuquén.
19. Matthews, G. A. 1992. *Pesticide application methods*. Harlow, Longman Singapore Publishers. 405 p.
20. Pergher, G. 2004. Field evaluation of a calibration method for air-assisted sprayers involving the use of a vertical patternator. *Crop Protection*. 23(5): 437-446.
21. Pergher, G.; Petris, R. 2008. The effect of air flow rate on spray deposition in a guyottrained vineyard. *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal*. 10 p.
22. Pezzi, F.; Rondelli, V. 2000. The performance of an air-asisted sprayer operating in vines. *J. agric. Engng. Res.* 76: 331-340.
23. Planas, S.; Fillat, A. 1991. La distribución de fitosanitarios en plantaciones intensivas de manzano y peral. *Máquinas y tractores*. 2 p.
24. Salyani, M.; Koo, Y. M.; Sweeb, R. D. 2000. Spray application variables affect air velocity and deposition characteristics of a tower sprayer. *Proc. Fla. State Hort. Soc.* 113(96).
25. Solanelles Batlle, F.; Gracia Aguila, F. J.; Fillat Morata, A. 2003. Diseño de los pulverizadores para la fruticultura de acuerdo con las normas europeas. *Nutri-fitos*. 81(1): 6-14.
26. Świechowski, W.; Doruchowski, G.; Holownicki, R.; Godyń, A. 2004. Penetration of air within the apple tree canopy as affected by the air jet characteristics and travel velocity of the sprayer. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities* 7.
27. Travis, J.; Scroch, W.; Sutton, T. 1987. Effect of canopy density on pesticide deposition and distribution in apple trees. *Plant disease*. 71(7).
28. Vujčić, B.; Tadić, V.; Marković, M.; Čačić, J. L.; Stošić, M.; Plaščak, I. 2015. Impact of technical spraying factors on vertical liquid distribution with Agromehanika AGP 440 axial fan sprayer. *Tehnički vjesnik: znanstveno-stručni časopis tehničkih fakulteta Sveučilišta u Osijeku*. 22(2): 367-373.