

CORTINA DE AIRE PARA LA APLICACIÓN DE AGROQUÍMICOS EN FRUTICULTURA. EVALUACIÓN DE SISTEMAS DE GENERACIÓN Y TRANSPORTE

AIR CURTAIN FOR AGROCHEMICAL APPLICATIONS IN FRUIT ORCHARDS. EVALUATION OF GENERATION AND TRANSPORT SYSTEMS

Sergio Behmer^{1*}, César Mignone¹, Carlos Magdalena², Edgardo Benitez², Alcides Di Prinzio¹

¹Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Comahue, Ruta Nacional 151 Km 12 (8303), Cinco Saltos, Río Negro, Argentina.

²Estación Experimental Agropecuaria Alto Valle, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Ruta Nacional 22 Km 1190 (8332), Allen, Río Negro, Argentina.

*Autor para correspondencia E-mail: sbeher@yahoo.com

RESUMEN

Las aplicaciones de agroquímicos en huertos frutales conducidos en espalderas que se realizan con pulverizadores de flujo divergente son desuniformes y presentan altas pérdidas de producto. La cortina de aire que generan los pulverizadores con ventiladores tangenciales resulta un avance hacia la mejora de la eficiencia de la aplicación. Con la finalidad de ofrecer una alternativa tecnológica y económica para la fabricación de un pulverizador con cortina de aire vertical y transversal a la fila, se fabricó un prototipo con una manga y tobera vertical, y se evaluó el comportamiento del flujo de aire bajo distintas configuraciones: a) manga con ingreso de aire axial y ventilador axial; b) manga con ingreso de aire radial, con y sin dissipador de vórtice, y ventilador axial; c) manga con ingreso de aire radial con dissipador de vórtice y ventilador centrífugo. Se midió la velocidad del flujo de aire, se analizó la variabilidad del perfil, el gradiente de disminución de la velocidad y el caudal obtenido ante diferentes anchos de tobera y regímenes del ventilador. Los resultados indicaron que el ventilador influye sobre la uniformidad del perfil de aire, efecto que se atenuó con el uso de dissipadores de vórtice, obteniéndose coeficientes de variación de los vectores de velocidad menores al 10%, independientemente del tipo de ventilador y del régimen utilizado. La manga de aire con ingreso central y radial y con dissipador de vórtice resultaría el arreglo más adecuado para equipar un pulverizador hidroneumático para frutales conducidos en espalderas.

Palabras clave: fruticultura, pulverizadores hidroneumáticos, cortina de aire, uniformidad.

ABSTRACTS

Agrochemical applications using divergent flow sprayers are non-uniform and result in high product losses in orchards operating on a trellis system. Air curtain sprayers generated by tangential fans represent a step forward towards improving the efficiency of these applications. In order to provide a technological and economical alternative for air curtains in a vertical or transverse to the row direction, a prototype with a sleeve and vertical air outlets was built and the behavior of the airflow was evaluated under different configurations: a) axial flow sleeve and axial fan; b) radial flow sleeve, with and without vortex dissipator, and axial fan; c) radial flow sleeve with vortex dissipator and centrifugal fan. The airflow rate was measured, while profile variability, rate of decrease in speed

and flow rate obtained with different air outlet widths and fan regimes were analyzed. The results indicate that the fan affects the uniformity of the air profile. This effect was attenuated with the vortex dissipator, resulting in coefficients of variation lower than 10%, regardless of the type of fan or regimen used. The sleeve with central and radial incoming airflow and vortex dissipator would be the most appropriate arrangement to equip an airblast sprayer to be used in orchards operating on a trellis system.

Key words: fruticultural, airblast sprayers, air sleeve, uniformity.

INTRODUCCION

Los tratamientos fitosanitarios en los cultivos frutícolas se realizan principalmente con pulverizadores hidroneumáticos equipados con ventiladores axiales, con el objeto de reemplazar el volumen de aire contenido en el árbol por una masa de aire cargada con partículas de agroquímicos (Walklate et al., 1996). Dichos pulverizadores comenzaron a emplearse en la década del 50 y sus parámetros aerodinámicos estaban ajustados a los huertos de esa época, caracterizados por árboles de gran porte conducidos en vaso libre (Cross et al., 2003).

En la actualidad los huertos son conducidos en espalderas, con árboles de menor porte, pasando de 200 a más de 1000 árboles por hectárea (Boltschauser et al., 2007). Sin embargo se sigue utilizando aquel mismo tipo de pulverizadores, con la incorporación de la regulación de la velocidad de giro del ventilador como única innovación tecnológica de relevancia (Magdalena, 2004).

El flujo de aire divergente, típico de los pulverizadores hidroneumáticos equipados con un solo ventilador, al atravesar la copa del árbol presenta un comportamiento diferencial en función de la dirección del vector velocidad del aire y de la altura del árbol (Behmer et al., 2013), necesitando contar con velocidades muy altas en las partes bajas del árbol para poder alcanzar en las zonas altas el valor de velocidad de 3 m s^{-1} propuesto por Antonin y Feillay (1976) y por Trefan (1985) como mínimo para penetrar en la copa del árbol. Ello conlleva a una aplicación desuniforme con exceso de agroquímico en la parte baja y externa de los árboles, con subaplicación en los sectores altos e internos de los mismos y con altos niveles de pérdidas, generándose una situación de compromiso entre la necesidad de alcanzar las partes altas del árbol y el riesgo de deriva que ello ocasiona (Pergher et al., 1997; Marucco et al., 2008).

Desde los años 80 se han incorporado cambios en la tecnología de aplicación a fin de mitigar las ineficiencias de los pulverizadores convencionales. En los últimos años se han diseñado y evaluado pulverizadores equipados con más de un ventilador, ya sea con sus ejes de giro en una misma línea, girando en sentidos opuestos (Gar-

cía-Ramos et al. (2012), o en líneas paralelas y a diferentes alturas, o simplemente ventiladores axiales con varias toberas orientables (Dekeyser et al., 2013) con el objetivo de mejorar la penetración del producto en profundidad y en la parte alta de la copa del árbol.

Van Ee y Ledebuhr (1988), citados por Magdalena (2004), incorporaron el concepto de "cortina de aire" al referirse al flujo de aire generado por un ventilador de flujo tangencial, y destacan que dicho flujo es poco turbulento y que tiene buenas características para el transporte y la penetración. Algunas de las ventajas que señalan dichos autores respecto del concepto "cortina de aire" son: generación de altos caudales de aire, con velocidades medias de 30 a 90 km h^{-1} ; posibilidad de distribuir el aire sobre la periferia del árbol; y control del tamaño de gotas independientemente de la velocidad del aire.

Ademas Steinke et al. (1998) citados por Derksen et al. (2004) afirmaron que las cortinas de aire generadas por ventiladores transversales presentan mayor uniformidad de los depósitos comparados con los ventiladores axiales. Magdalena (2004) afirmó que el perfil de velocidad del aire de un ventilador tangencial es uniforme, con coeficientes de variación del orden del 7% a dos metros desde la tobera.

Di Prinzi et al. (2004) incorporaron la cortina de aire en un túnel pulverizador con la finalidad de favorecer el transporte y la distribución del producto sobre el árbol y confinar la pulverización en el interior de dicho túnel. Dicha cortina fue generada en un principio por toberas individuales y posteriormente por una manga con una tobera rectangular. Este último arreglo presentó un perfil de aire con velocidades muy uniformes (Di Prinzi et al., 2005), lo que vislumbró la posibilidad de ofrecer una alternativa económica para generar una cortina de aire.

Panneton et al. (2005) también utilizaron este concepto de cortina de aire en un pulverizador con pantalla de reciclaje y utilizaron un parámetro que permite definir el caudal de aire del ventilador necesario para reemplazar el volumen de aire seco presente en la copa del árbol con aire cargado con las gotas pulverizadas. Estos autores denominaron al mencionado parámetro como

“caudal de aire específico” e indicaron que con caudales de aire específico del orden del 70% obtuvieron la mejor uniformidad de los depósitos coincidente con la menor pérdida de producto.

El objetivo del presente trabajo fue desarrollar un sistema de transporte de agroquímicos que genere una cortina de aire vertical con flujo transversal a la hilera, de bajo costo, que se pueda proponer para la fabricación de un pulverizador ajustado a las particularidades de los huertos frutales conducidos en espaldera. Como objetivo particular se propone evaluar el efecto de la configuración del ingreso del aire a la manga y del tipo de ventilador utilizado para el sistema de transporte, sobre la uniformidad de la cortina de aire.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se fabricaron dos versiones de una manga, de 2,3 m de largo y de 0,45 m de diámetro, una con el ingreso del aire en forma axial y la otra con ingreso radial ubicado en el centro de su longitud. La manga presenta una tobera longitudinal como única salida del aire, de sección rectangular y regulable entre 20 y 60 mm de ancho, abarcando todo el largo de la manga. (Fig. 1). Para la generación de la corriente de aire se utilizaron dos opciones, una con ventilador axial de 450 mm de diámetro, accionado mediante un motor eléctrico a un régimen de funcionamiento de 2850 v min^{-1} , y la otra con ventilador centrífugo de 300 mm de diámetro, sección de salida cuadrangular de $0,2 \text{ m}^2$, accionado por la toma de potencia, relación de transmisión entre el motor del tractor utiliza-

do y el ventilador de 1,89.

Se consideraron los siguientes arreglos (Fig. 1): A) Manga con ingreso de aire en un extremo (axial), sección: $0,16 \text{ m}^2$ y ventilador axial; B) Manga con ingreso de aire radial ubicado en el centro de su longitud, sección: $0,16 \text{ m}^2$ y ventilador axial: a) Sin dissipador de vórtice; b) Con dissipador de vórtice, chapa rectangular perforada de 450 y 800 mm de lado, ubicado en el plano central de la manga, frente a la entrada y perpendicular al flujo de aire, con dos versiones: V1) orificios de 25 mm de diámetro y 40% de porosidad, y V2) orificios de 20 mm de diámetro y 25% de porosidad.

B) Manga con ingreso de aire radial ubicado en el centro de su longitud, de $0,16 \text{ m}^2$ de sección con dissipador de vórtice V2 y ventilador centrífugo con velocidad variable.

Régimenes del ventilador utilizado: 1700, 2000, 2300, 2600 v min^{-1} .

En la Fig. 2 se ilustra la ubicación de la manga vertical en el pulverizador y su relación con el huerto frutal, independientemente de la propuesta de ventilador utilizado y arreglo del ingreso del aire

Las determinaciones de velocidad del aire se realizaron con un anemómetro digital de hélice (Testo, modelo 440, fabricante GmbH & Co, Lenzkirch, Alemania), tomando valores cada 100 mm en todo el largo de la tobera. Dichas determinaciones se realizaron a 0,01 m, 0,4 m, 0,8 m y 1,2 m desde la salida del aire. Cada dato de velocidad de aire correspondió a un promedio de 5 valores registrados durante un período de 5 segundos.

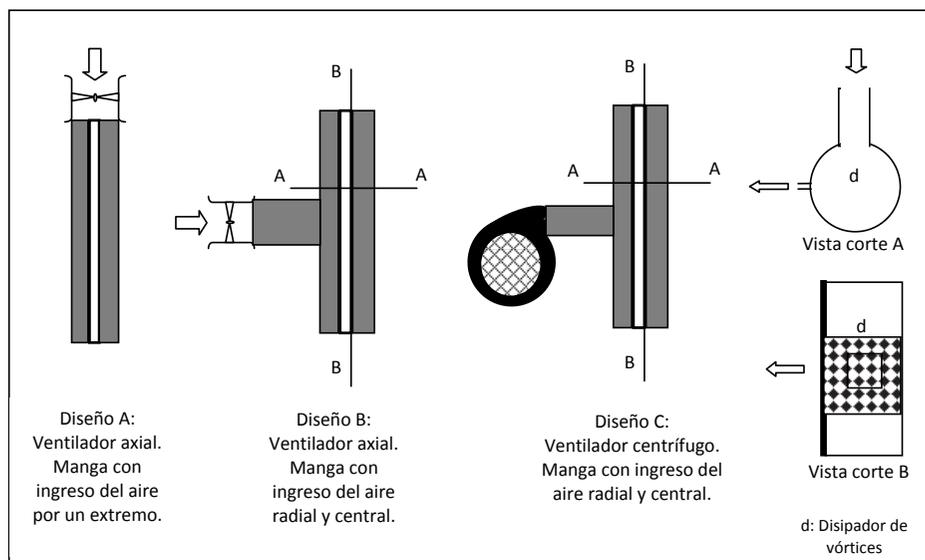


Fig. 1. Esquemas de las propuestas de ingreso de aire y tipo de ventiladores. Vista en corte del diseño C (ubicación del dissipador de vórtices).

Fig. 1. Schemes of air intake and fans type proposal. Cutaway design C (location of vortex dissipator).

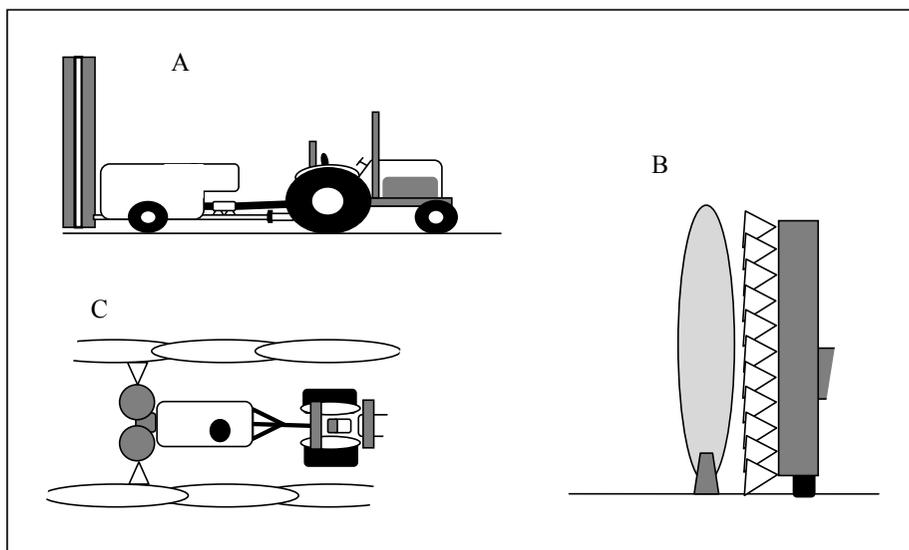


Fig. 2. Vista lateral (A), frontal (B), y en planta (C), de un esquema ilustrativo de la ubicación de la manga vertical en el pulverizador y su relación con el árbol frutal (para todos los tipos de ventiladores e ingresos del aire)

Fig. 2. Side view (A) front view (B) and plan view (C) illustrating the location of the vertical sleeve to the sprayer and its relationship with the fruit tree (for all types of fan and air inlets)

A los efectos de evaluar el grado de ajuste del caudal de aire del pulverizador con la demanda de un huerto de frutales típico de la región, se utilizó el parámetro “caudal específico” definido por Panneton et al (2005) según la fórmula:

$$Q_s = \frac{Q_v}{a \times v_t} \times 100 \quad (1)$$

donde: Q_s : caudal específico de aire; Q_v : Caudal de aire erogado por el ventilador ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$); v_t : velocidad de avance (m s^{-1}); a : área comprendida entre la tobera y el tronco del árbol (valor 10 en la propuesta de los mencionados autores). A los efectos de este trabajo se consideró una tobera de 2,3 m de altura distanciada a 1,4 m del centro de la fila.

RESULTADOS Y DISCUSION

Diseño A

En la Fig. 3 se presentan los valores de velocidad de aire a distintas distancias de la tobera y para tres niveles de ancho de tobera. Inmediatamente a la salida de la tobera se observan diferencias de velocidad de aire en función del ancho de la tobera. Dichas diferencias no se manifestaron a partir de los 0,4m de la salida, distancia mínima al follaje, destacándose además el bajo gradiente de disminución de la velocidad de la corriente de aire en función del incremento de la distancia.

La Tabla 1 muestra un importante incremento

de la variabilidad del perfil de aire en función de la distancia, independientemente del ancho de la tobera, siendo mayor la variabilidad a medida que se incrementa el ancho de la tobera. Esta alta variabilidad se refleja en la Fig. 4 donde se observa que los valores de velocidad muy inferiores al resto se agrupan en el sector del perfil más próximo al ventilador. Este efecto del ventilador sobre el perfil de aire se hace más notorio a medida que se incrementa la distancia a la tobera.

Si bien esta configuración simplificaría el montaje del conjunto, los resultados reflejan que no sería conveniente su empleo ya que no permite obtener una cortina de aire uniforme en toda su longitud.

Diseño B

En la Tabla 2 se observa una alta variabilidad del perfil de aire en la versión sin dissipador de vórtices en comparación con las versiones con dissipador de vórtices, incrementándose dicha variabilidad con la distancia a la tobera. La versión con dissipador de vórtices V2 presenta la menor variabilidad y una marcada independencia con la distancia a la tobera. Por otro lado este comportamiento es independiente del ancho de la tobera.

En el análisis comparativo de las Figs. 5, 6 y 7, se observa como la incorporación del dissipador de vórtices corrige el efecto de concentración de los vectores de mayor velocidad del aire en los extremos de la manga que ocurre en el diseño sin

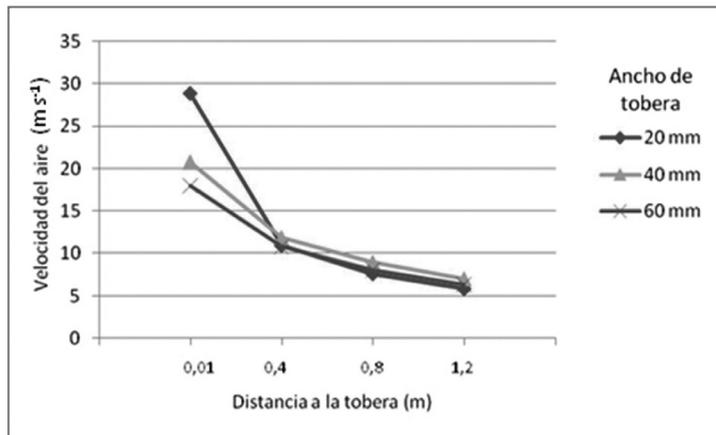


Fig. 3. Gradiente de velocidad para tres anchos de tobera (20, 40 y 60 mm). Diseño A.
Fig. 3. Air speed gradient for three widths of air outlets (20, 40 and 60 mm). Design A.

Table 1. Coefficients of variation of air speed profiles. Design A.

Ancho de tobera (mm)	Distancia a la tobera (m)			
	0,01	0,4	0,8	1,2
20	9,00	28,41	30,89	44,17
40	5,81	22,98	38,11	54,07
60	18,08	36,78	44,31	58,45

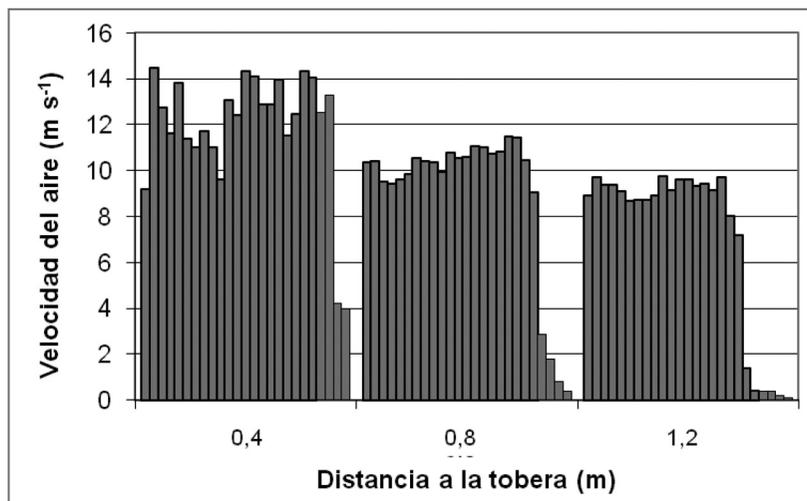


Fig. 4. Perfil de velocidad de aire del diseño A, con ancho de tobera de 40 mm. (Ingreso del aire a la manga desde la derecha del gráfico).

Fig. 4. Airspeed profile design A, width air outlet 40 mm. (Air intake to air sleeve from the right of the graph).

disipador (Fig. 4), distribuyéndolos más uniformemente en todo el largo de la tobera, efecto más notorio con el disipador de vórtice 2 (Fig. 6).

Diseño C

Los resultados de las evaluaciones de la manga con ingreso radial y disipador de vórtice 2,

utilizando un ventilador centrífugo, se indican en la Tabla 4 para diferentes regímenes de funcionamiento del ventilador, y en la Fig. 8 para un caso en particular. Se observa un comportamiento similar al obtenido por la misma manga equipada con ventilador axial, ya que los valores de la variabilidad fueron similares e independientes

Tabla 2. Velocidades medias ($m s^{-1}$) y coeficiente de variación (%) del perfil de aire a distintas distancias desde la tobera. (Ancho de tobera 40 mm).

Table 2. Average speed ($m s^{-1}$) and coefficient of variation (%) of the air profile at different distances from the air outlet. (Air outletwidth 40 mm).

Distancia a la tobera	Sin dissipador		Con dissipador V1		Con dissipador V2	
	Vel.	CV	Vel.	CV	Vel.	CV
m	$m s^{-1}$	%	$m s^{-1}$	%	$m s^{-1}$	%
0,01	14,44	36,18	16,92	7,57	16,50	6,16
0,4	9,82	39,81	11,01	11,15	10,21	10,33
0,8	7,21	53,79	7,74	16,66	6,70	12,36
1,2	6,10	63,25	5,19	26,36	5,74	10,82

Vel.: velocidad del aire; CV: coeficiente de variación.

Tabla 3. Coeficiente de variación (%) del perfil de velocidad de aire de la versión con dissipador de vórtices 2.

Table 3. Coefficient of variation (%) of air speedy profile of the vortex dissipater version 2.

Distancia a la tobera (m)	Ancho de tobera (mm)		
	40	50	60
0,01	6,16	8,29	9,17
0,4	10,33	10,45	6,46
0,8	12,36	12,62	9,55
1,2	10,82	8,23	7,70

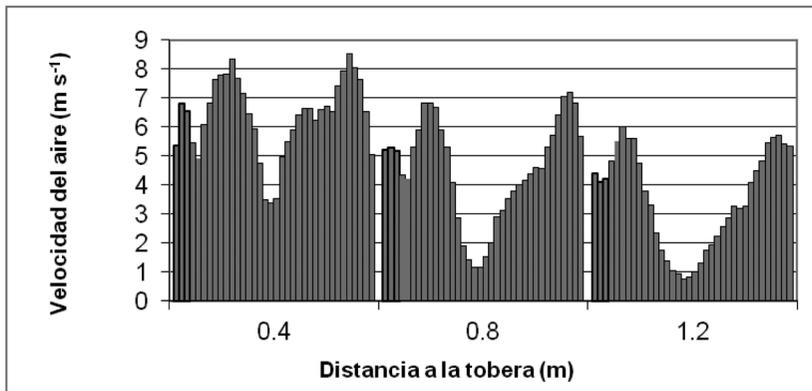


Fig. 5. Perfil de velocidad de aire de la manga con ingreso radial sin dissipador de vórtice, ancho de tobera: 40 mm.

Fig. 5. Air speed profile with radial flow sleeve without vortex dissipator, air outlet width 40 mm.

de la distancia a la tobera, comportamiento que también resultó independiente del régimen del ventilador.

La Tabla 5 permite apreciar la uniformidad que presenta la manga con ingreso radial con dissipador de vórtice independientemente del tipo de ventilador.

Los parámetros que caracterizan las prestaciones de la manga con el diseño C se presentan en la Tabla 6. Donde el caudal de aire quedó de-

finido por la velocidad promedio del flujo de aire registrado en la salida (distancia 0,01 m) y la sección de la tobera correspondiente a cada ancho de la misma. Se observa que, si bien la velocidad del aire disminuye al aumentar el ancho de la tobera, el caudal aumenta en función de la mayor sección de salida y probablemente a una menor restricción en la conducción del aire.

En la Fig. 9 se presenta la relación entre el caudal y la velocidad del aire en la salida para

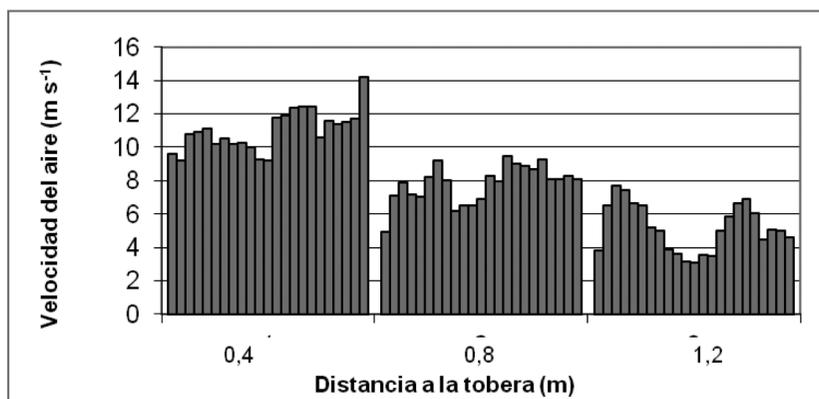


Fig. 6. Perfil de velocidad de aire de la manga con ingreso radial con disipador de vórtice 1 y con ancho de tobera de 40 mm.

Fig. 6. Air speed profile with radial flow sleeve and vortex dissipater 1, air outlet width 40 mm.

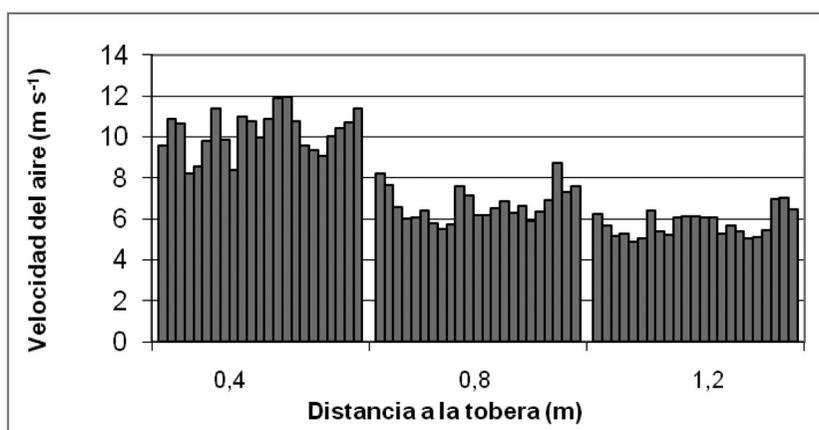


Fig. 7. Perfil de velocidad de aire de la manga con ingreso radial con disipador de vórtice 2 y con ancho de tobera de 40 mm.

Fig. 7. Air speed profile with radial flow sleeve and vortex dissipater 2, air outlet width 40 mm.

Tabla 4. Velocidades medias (m s^{-1}) y coeficiente de variación (CV, %) del perfil de aire. Diseño C y ancho de tobera 60 mm.

Table 4. Average speed (m s^{-1}) and coefficient of variation (CV, %) of the air profile. Design C and air outlet width 60 mm.

Dist. a la tobera	1700 v min^{-1}		2000 v min^{-1}		2300 v min^{-1}	
	Vel.	CV	Vel.	CV	Vel.	CV
m	m s^{-1}	%	m s^{-1}	%	m s^{-1}	%
0,01	18,01	8,15	20,83	6,98	29,01	4,58
0,4	10,81	11,73	12,19	10,37	17,36	11,45
0,8	8,29	11,00	9,37	11,52	13,28	11,19
1,2	6,34	16,62	8,18	11,59	11,15	14,62

Vel.: velocidad del aire; CV: coeficiente de variación.

el diseño C, en la misma se graficaron líneas que representarían puntos de igual régimen del ventilador o ancho de la tobera. De este gráfico se desprende que para cada ancho de tobera existió un comportamiento lineal de los parámetros velocidad y caudal de aire con el régimen del ventilador. Este comportamiento lineal no se cumplió para un mismo régimen de funcionamiento y distintos anchos de tobera. Por lo tanto este gráfico resultaría de interés para tener una estimación de los parámetros, velocidad y caudal de aire, para diferentes regulaciones del régimen o del ancho de tobera.

En la Tabla 7 se indican los valores de caudal de aire específico (Panneton et al., 2005) alcanzados por la manga de diseño C, simulando su trabajo en un huerto de frutales de 4 m de altura, 1,6 m de espesor y 4 m de distancia entre hileras y con una velocidad de avance de 4,3 km h⁻¹.

DISCUSION

Visto los resultados se desprende que independientemente de la ubicación del ingreso del aire, existe un efecto del ventilador sobre el perfil de aire que afecta su uniformidad. Sin embargo, dicha desuniformidad disminuye con el uso de disipadores de vórtice, siendo el más efectivo el de mayor restricción al paso del aire; esta mejora en la distribución del aire, lograda por los disipadores, es independiente del tipo de ventilador.

El incremento del caudal de aire a través del aumento del régimen de giro del ventilador y/o del ancho de la tobera, para el diseño C, no afecta a la uniformidad del perfil de aire, con coeficientes de variación que se mantuvieron bajo el 10%, los cuales resultan similares a los obtenidos por Magdalena (2004), quien trabajó con ventiladores tangenciales.

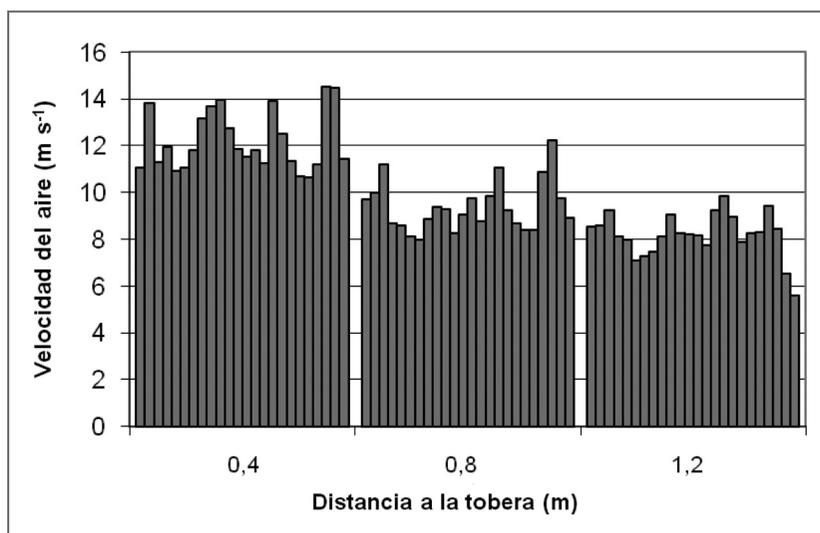


Fig. 8. Perfil de velocidad de aire del diseño C, con ancho de tobera de 60 mm y con un régimen del ventilador de 2000 v min⁻¹.

Fig. 8. Speed profile of design air C, with 60 mm air outlet width and 200 v min⁻¹ fan revolutions.

Tabla 5. Comparación de la variabilidad de todos los diseños de sistema de transporte. (Ancho de tobera: 40 mm, distancia desde la tobera 0,4 m).

Table 5 Comparison of the variability of all transport system designs. (outlet width: 40 mm, distance from outlet 0.4 m)

Tipo de ventilador	Ingreso a la manga	Disipador	CV
Axial	Axial	Sin	22,98
Axial	Radial	Sin	39,81
		Tipo 1	11,15
		Tipo 2	10,33
Centrífugo	Radial	Tipo 2	11,18

Tabla 6. Caudal de aire ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$), velocidad media (m s^{-1}) y variabilidad del perfil de aire (%). Diseño C.
 Table 6. Air flow ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$), air average speed (m s^{-1}) and profile variability (%). Design C.

Régimen	Ancho de tobera (mm)								
	40			50			60		
	Vel.	CV	Q	Vel.	CV	Q	Vel.	CV	Q
v min^{-1}	m s^{-1}	%	$\text{m}^3 \text{h}^{-1}$	m s^{-1}	%	$\text{m}^3 \text{h}^{-1}$	m s^{-1}	%	$\text{m}^3 \text{h}^{-1}$
1700	23,63	4,87	7824	20,01	6,58	8284	18,89	8,84	9383
2000	26,22	4,40	8685	22,44	7,17	9289	20,74	7,31	10304
2300	30,12	4,60	9976	26,06	5,72	10790	23,91	8,45	11877
2600	34,35	5,67	11376	30,93	4,18	12805	26,77	7,95	13301

Vel: velocidad del aire; CV: coeficiente de variación; Q: caudal de aire.

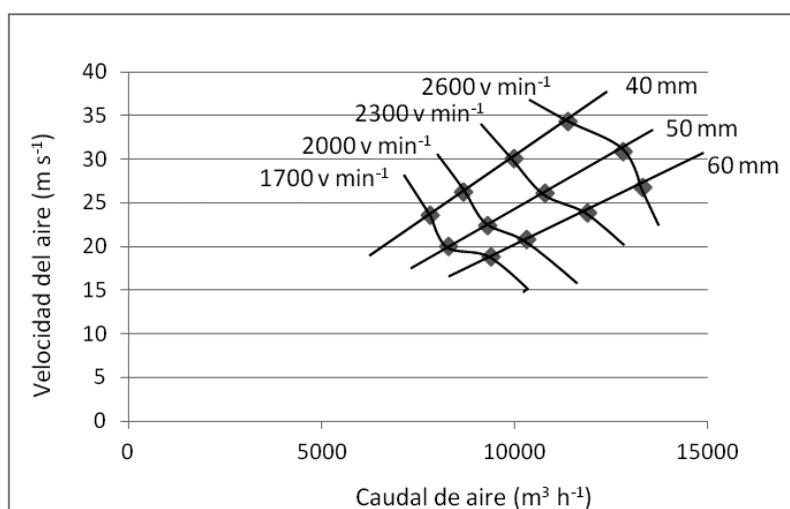


Fig. 9. Relación velocidad y caudal de aire para el diseño C.

Fig. 9. Speed and airflow relation for design C.

Tabla 7. Caudal de aire específico (%) en función del ancho de tobera y del régimen del ventilador. Diseño C (Condiciones: sector de la espaldera considerada 2,3 m, distancia tobera-centro de la fila 1,4 m, velocidad de avance $1,2 \text{ms}^{-1}$).

Table 7. Specific air flow (%) according to the air outlet width and fan rotation speed. Design C (Conditions: Sector of trellis system considered 2,3 m, distance air outlet-row center 1,4 m, feed rate $1,2 \text{ms}^{-1}$).

Régimen del ventilador (v min^{-1})	Ancho de tobera (mm)		
	40	50	60
1700	55,32	58,57	66,35
2000	61,41	65,68	72,85
2300	70,53	76,29	83,98
2600	80,44	90,55	94,05

En el diseño C se pudo observar que el incremento del caudal de aire, sólo a través del aumento del ancho de la tobera, permitió obtener valores de velocidad de aire superiores a 3 m s^{-1} , que serían aceptables para conseguir un buen transporte y penetración en la copa del árbol, de acuerdo con Antonin y Feillay (1976) y con Trefan(1985). Dado que este efecto no requirió de un incremento del régimen del ventilador, es de suponer que este resultado favorable no implicaría una mayor demanda de potencia. Sin embargo, de acuerdo a las condiciones del cultivo se podrá utilizar la combinación ancho de tobera-régimen más adecuada para conseguir un mejor ajuste de los parámetros caudal y velocidad del aire.

Por otro lado, los valores de caudal de aire específico obtenidos con este diseño a partir de las 2000 v min^{-1} superan el 70%, indicado por Panne-ton et al. (2005) como adecuado para conseguir una mayor eficiencia de aplicación en huertos conducidos en espalderas con un equipo pulverizador con cortina de aire vertical, pero este resultado no es independiente con el ancho de tobera ya que en el mencionado régimen es necesario abrir la tobera hasta 60 mm para alcanzar el valor indicado.

En función de lo analizado precedentemente, el conjunto manga con ingreso de aire central y radial y con disipador de vórtice, resultaría una alternativa tecnológica de bajo costo para la aplicación de agroquímicos en huertos frutales conducidos en espaldera. Incluso, por su independencia con el tipo de ventilador, puede ser utilizado como un accesorio para adaptar los pulverizadores de flujo divergente preexistentes utilizados por los fruticultores. Sin embargo, sería necesario realizar ensayos en campo a fin de evaluar su comportamiento en condiciones operativas.

CONCLUSIONES

La presencia de un disipador de vórtices en el ingreso de aire optimiza el perfil de velocidad de la cortina de aire independientemente del tipo de ventilador utilizado.

El conjunto manga con ingreso de aire central y radial y disipador de vórtice genera una cortina de aire uniforme e independiente del tipo de ventilador utilizado.

La uniformidad del perfil de aire del conjunto manga con ingreso de aire central y radial y disipador de vórtice es independiente del régimen del ventilador y del ancho de la tobera.

LITERATURA CITADA

Antonin, P., et D. Feillay. 1976. L'influence du type de pulvérisateur sur l'efficacité des trai-

tements antiparasitaires en arboriculture. Re-
vue Suisse Vitic. Arboric. Hortic. 8:111-131.

- Behmer, S.N., A.P. Di Prinzio, C. Mignone, G.L. Striebeck, y G. Gimenez. 2013. Aplicación de agroquímicos en huertos frutales. Comportamiento de la velocidad del aire detrás de la fila de árboles. p. 200. Resúmenes del XXXVI Congreso Argentino de Horticultura. Ed. ASAGO, San Miguel del Tucumán, Argentina.
- Boltshauser, V., P. Villarreal, B. Avellá, B. Mauricio, S. Romagnoli, M. Viñuela, y N. Zunino. 2007 Área irrigada de la provincia de Río Negro. Caracterización socio- económica y técnico productiva. 37 p. Secretaría de Fruticultura de Río Negro-INTA, EEA Alto Valle, INTA, Gral. Roca, Río Negro, Argentina.
- Cross, J.V., P.J. Walklate, R.A. Murray, and G.M. Richardson. 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* 22:381-394.
- Di Prinzio, A.P. 2004. Túnel pulverizador para manzanos de alta densidad. Diseño y calidad de aplicación. 208 p. Tesis Doctoral. Departamento de Mecanización y Tecnología Agraria, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España.
- Di Prinzio, A.P., S.N. Behmer, J.C. Magdalena, G.A. Di Prinzio, y C. Beroiza. 2005. Propuesta de utilización de cortinas de aire adaptadas a un túnel pulverizador para frutales. Memorias del VIII Congreso Argentino de Ingeniería Rural. [CD-Rom]. Merlo, San Luis, Argentina.
- Dekeyser, D., A.T. Duga, P. Verboven, A.M. Endalew, N. Hendrickx, D. Nuyttens. 2013. Assessment of orchard sprayers using laboratory experiments and computational fluid dynamics modelling. *Biosystems Engineering* 114:157-169.
- Derksen, R.D., C.R. Krause, R.D. Fox, R.D. Bra-
zee, and R. Zondag. 2004. Spray delivery to nursery trees by air curtain and axial fan orchard sprayers. *J. Environ. Hort.* 22(1):17-22.
- García-Ramos, F.J., M. Vidal, A. Boné, H. Malón, and J. Aguirre. 2012. Analysis of the air flow generated by an air-assisted sprayer equipped with two axial fans using a 3D sonic anemometer. *Sensors* 12:7598-7613.
- Magdalena, J.C. 2004. Efecto de la utilización de pulverizadores de flujo transversal e hidroneumático tradicional sobre la calidad de los tratamientos fitosanitarios en manzanos (*Malus domestica* Borkh). 215 p. Tesis Doctoral. Departamento de Mecanización y Tecnología Agraria, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España.

- Marucco, P., M. Tamagnone, and P. Balsari. 2008. Study of air velocity adjustment to maximize spray deposition in peach orchards. 13 p. *Agricultural Engineering: the CIGR*. Available at <http://EJournal.ManuscriptALNARP08009> Vol. X May 2008. (Accessed January 7 2014)
- Panneton, B., B. Lacasse, and R. Thériault. 2005. Penetration of spray in apple trees as a function of airspeed, airflow, and power for tower sprayers. *Canadian Biosystems Engineering* 47:13-20.
- Pergher, G., R. Gubiani, and G. Tonetto. 1997. Foliar deposition and pesticide losses from three air-assisted sprayers in a hedgerow vineyard. *Crop Protection* 16(1):25-33.
- Trefan, L. 1985. Posibilita di valutare la distribuzione dei prodotti antiparassitari in frutticoltura. *M&Ma* 5:17-25.
- Walklate, P.J., K.L. Weiner, and C.S. Parkin. 1996. Analysis of an experimental measurements made on a moving air-assisted sprayer with two-dimensional air jets penetrating a uniform crop canopy. *J. Agric. Enging. Res.* 63:365-378.