

Pulverizador hidroneumático de alta eficiencia para aplicación fitosanitaria en la masa foliar



HIGH EFFICIENCY HYDRO-PNEUMATIC SPRAYER FOR PHITOSANITARY APPLICATIONS

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/7426> | Recibido: 29/10/2014 • Aceptado: 01/12/2014

■ ■ ■ ■
 Elías López-Alba, Juan Antonio Almazán-Lázaro,
 Francisco Alberto Díaz-Garrido

UNIVERSIDAD DE JAÉN. Dpto. Ingeniería Mecánica y Minera.
 Campus Las Lagunillas, s/n - 23008 Jaén. Tfno: +34 953 21 28 70.
 elalba@ujaen.es

ABSTRACT

• Pulverization technology is the most used technique to pest control on foliar applications. Air assisted sprayers have been developed for decades and they supplied good results about cover area and droplet distribution on medium and large trees.

The principal disadvantages of this technology are the high levels of losses generated by airborne and above the ground. This trouble is related to large distances between nozzles and foliar mass.

This work shows a hydro-pneumatic sprayer based on a mechanical system. One major issue is that it can be adapted to trees geometry and plantation pattern.

Some tests emphasize the advantages of the proposed system compared to conventional hydro-pneumatic systems. Results are based on covered areas after treatments, and they show reductions in drift losses from 45,0% in the case of conventional sprayer to 18,5% for the case of the proposed prototype. In addition, the amount of product wasted over the ground was reduced from 79,8% in conventional sprayer to 17,9% for the presented prototype. Both sprayers achieved a similar outer and inner canopy droplets distribution. In addition, the power consumption was substantially reduced for the prototype presented.

• **Keywords:** Thus, the cost of chemical treatments and the environmental harmful was reduced. Keywords: sprayer, hydropneumatic, pesticide, drift, hydrosensible, efficiency.

RESUMEN

La tecnología de la pulverización es la técnica más empleada en el control de plagas y enfermedades para aplicación foliar. Los pulverizadores asistidos por aire, o hidroneumáticos, han sido desarrollados durante décadas y consiguen buenos resultados en árboles de porte medio y alto.

La principal desventaja de estos dispositivos radica en los elevados niveles de pérdidas que generan en el suelo y por deriva. Este problema está asociado a la elevada distancia que existe entre los elementos de pulverización y la masa foliar.

En este trabajo se propone un sistema hidroneumático de pulverización avanzado en el que un conjunto mecánico permite una adaptación total a la geometría y marco de plantación de los árboles.

Diversos ensayos han permitido comparar el sistema propuesto con los sistemas de pulverización hidroneumática convencional. Los resultados muestran una reducción del área cubierta en los testigos de deriva desde el 45,0% en el convencional al 18,5% del prototipo. Asimismo, en el suelo se cuantificó un 79,8% para el convencional, pasando a un 17,9% en el caso del prototipo. En la masa foliar ambos pulverizadores produjeron valores similares de cubrimiento y distribución de producto. Además, los requerimientos de potencia fueron significativamente más reducidos en el prototipo desarrollado.

Así, se consigue una reducción notable en el coste económico de los tratamientos y se aminoran significativamente los efectos nocivos sobre el medio ambiente.

Palabras clave: pulverizador, hidroneumático, fitosanitarios, deriva, hidrosensible, eficiencia.

1. INTRODUCCIÓN

La pulverización es la técnica más utilizada actualmente en la lucha química frente a plagas y enfermedades en la mayoría de cultivos de porte medio y alto, alcanzándose elevada efectividad en los tratamientos. Por otra parte, conviene tener en cuenta y minimizar los efectos nocivos sobre el medio ambiente, aguas de escorrentía y acuíferos, deterioro de hábitats, y riesgos sobre la salud de operarios y consumidores. Las pérdidas de producto por deriva y en el suelo son el principal problema debido a que una gran parte de los productos químicos utilizados se depositan sobre lugares no deseados, quedando como contaminantes potenciales en el medio.

Un breve análisis del estado del arte muestra que los pulverizadores hidroneumáticos o atomizadores son los más ex-

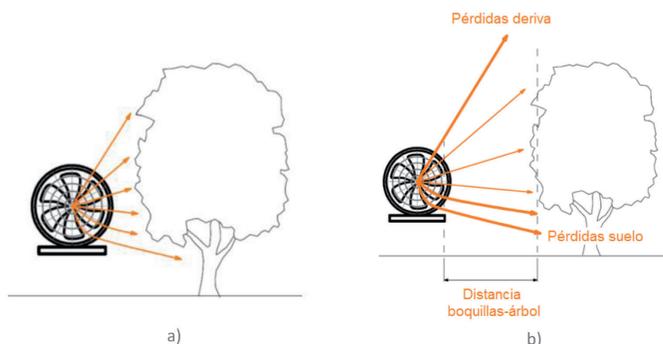


Fig. 1: El aumento de la distancia de pulverización de a) a b) genera mayores niveles de pérdidas por deriva y en el suelo. Su importancia es mayor en marcos de plantación amplios

tendidos, con una gran capacidad de penetración en la masa foliar. El hecho de utilizar asistencia de aire ha mostrado ventajas en numerosas ocasiones, en cuanto a deposición vertical y penetración en el interior de la copa [1], [2]. La mayor desventaja de esta tecnología radica en el elevado nivel de pérdidas de productos químicos que genera por deriva y en el suelo, tal y como muestran diversos autores, las pérdidas pueden cuantificarse hasta en un 50% del producto total aplicado [3], [4].

Se asocian estos niveles de pérdidas a la falta de regulación y adaptación de los pulverizadores a la geometría del propio cultivo y su marco de plantación, lo que supone elevados niveles de pérdidas en el suelo (Fig. 1) y por deriva, debiendo controlar parámetros como la geometría del árbol y el tamaño de gota aplicado [5]. Así, la eficiencia de los tratamientos queda directamente relacionada con la capacidad que puedan tener los pulverizadores para adaptarse a las diferentes geometrías y distancias entre árboles. Esta capacidad de adaptación es muy reducida e incluso nula en los pulverizadores convencionales, por lo que aplican la mezcla de aire y producto desde distancias elevadas.

Además, la literatura destaca la importancia de mantener un tamaño reducido de la población de gotas para conseguir un buen cubrimiento y efecto químico en la planta [6], [7] y [8]. A su vez, el tamaño de gota aplicable queda acotado inferiormente por las elevadas distancias anteriormente descritas, ya que en marcos de plantación amplios y en condiciones de viento desfavorables, son las más susceptibles de producir deriva [9], [10]. Estudios realizados por [11] mostraron una mejora en los resultados al utilizar sistemas capaces de pulverizar desde puntos más cercanos a la masa foliar.

Las pérdidas por deriva se ven incrementadas con la distancia de pulverización y con la reducción del tamaño de gota, aunque éste último podría reducirse si se pulveriza desde distancias reducidas. La tecnología actual de boquillas permite obtener gotas

tan reducidas como se desee. Así, resulta necesario un sistema que sea capaz de utilizarlas manteniendo reducidas distancias al árbol.

Este trabajo propone un sistema hidroneumático de gran versatilidad capaz de aplicar los productos a distancias realmente reducidas mediante la canalización de los flujos de aire y producto hasta los puntos de aplicación.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. DEFINICIÓN DEL SISTEMA DE PULVERIZACIÓN

Según los factores previos de diseño, se plantea un sistema mejorado que pretende extender la versatilidad de los sistemas actuales. Se basa en un sistema mecánico extensible que permite regular y mantener la distancia desde la que se aplica la corriente de aire y productos químicos. Esta regulación puede realizarse en cada árbol de manera y de esta forma, al aplicarse el producto desde pequeñas distancias, las gotas también pueden ser de tamaño reducido [13].

Un sistema mecánico de barras articuladas, junto a diferentes conducciones de aire sobre las mismas, permiten aplicar la corriente de aire tan cerca de la masa foliar como se requiera. Está compuesto por dos partes simétricas, con cuatro miembros estructurales de acero a cada lado conectados entre sí mediante juntas articuladas con pasador. Dos de los miembros estructurales, de 2 m de longitud cada uno, son utilizados para el ajuste de la separación entre hileras, permitiendo un movimiento horizontal. Las otras dos barras (de 1,6 m y 1,1 m) permiten el ajuste de la distancia vertical y la adaptación a la geometría arbórea, situando las boquillas a una altura adecuada, de acuerdo con las dimensiones del árbol según la



Fig. 2: Esquema de los elementos estructurales que componen el sistema mecánico. Un total de cuatro barras son utilizadas para la regulación en anchura y otras cuatro para adaptarse a la geometría y altura, a la vez que aplican el producto



Fig. 3: Esquema del desarrollo del sistema hidroneumático adaptable

Fig. 2. Aunque estas dimensiones corresponden al prototipo fabricado, podrían variarse en función del tipo de cultivo. Asimismo, el uso de materiales ligeros podría optimizar aún más el diseño. La Fig. 4 muestra distintos marcos y geometrías de plantación y, en todos los casos, la distancia entre los elementos de pulverización y la masa foliar es significativamente reducida.

En la Fig. 3 se muestran los elementos fundamentales del sistema. Las corrientes de aire y productos químicos se canalizan desde un sistema central hasta los difusores y boquillas a través de las respectivas conducciones. El sistema mecánico permite el movimiento de éstas últimas, asistido por un sistema de cilindros hidráulicos. En la Fig. 5 se muestra un esquema del sistema propuesto para la generación y distribución de aire.

Las corrientes de aire y productos químicos son canalizadas desde el ventilador y bomba, situadas en la parte central, hasta las salidas, colocadas en las barras más externas. Las dimensiones del sistema mecánico dependerán de las características del cultivo, como su altura y marco de plantación. Así, podría ser optimizado para conseguir resultados óptimos en cítricos, viñedos u otras plantaciones.

Se ha realizado el cálculo del mecanismo teniendo en cuenta cargas en situación estática y dinámica, considerando el peso propio e inercias en los movimientos en las posiciones de extensión más desfavorables, tal como se ha realizado en otros trabajos similares [12]. El principio de D'Alembert ha sido utilizado para simplificar los efectos dinámicos como fuerzas estáticas aplicadas sobre el mecanismo. Además, los resultados han sido contrastados con los obtenidos mediante elementos finitos, realizándose análisis con las mismas hipótesis de carga de diseño.

2.2. ENSAYOS. MATERIALES Y MÉTODOS

Se han realizado distintos ensayos utilizando el prototipo desarrollado con el objetivo de poder valorar su comportamiento, además de poder compararlo con el resto de tecnolo-

gías disponibles para aplicación de productos fitosanitarios. El pulverizador convencional ha sido comparado con otras tecnologías en estudios realizados por [14], por lo que la comparación entre el prototipo y el pulverizador convencional permite su valoración en cuanto al resto de tecnologías. En los ensayos se ha evaluado la deriva y pérdidas en el suelo, además de la distribución y tamaño de la población gotas en diferentes partes del árbol.

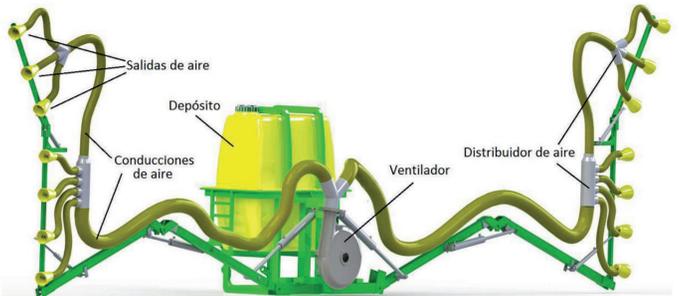


Fig. 5: Estructura y sistema neumático sobre un prototipo suspendido



Fig. 6: Prototipo

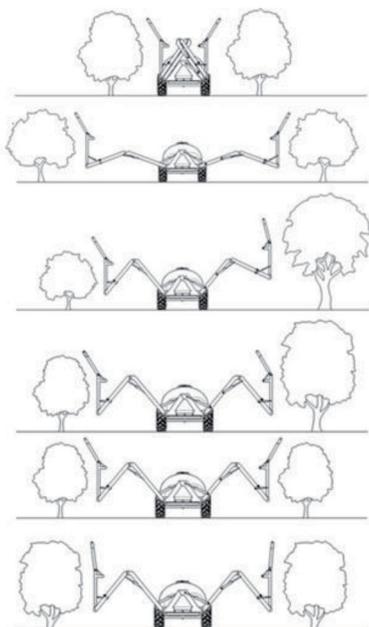


Fig. 4: Diferentes posiciones el mecanismo según el tamaño y marco de plantación



Fig. 7: Sistema convencional

Ambos sistemas fueron arrastrados por un tractor cadenas de 95 CV. El prototipo (Fig. 6) fue montado usando una conexión de tres puntos, y el convencional, de Mañez-Lozano (Fig. 7), como sistema arrastrado, tal como su configuración original. Además, el prototipo requirió del ajuste del sistema mecánico hasta posicionarse a la distancia, altura y geometría adecuada a los árboles. Ambos pulverizadores fueron guiados por el centro de las hileras.

En ambos casos se utilizaron 7 boquillas, correspondientes a una de las partes simétricas de cada pulverizador. Las boquillas utilizadas fueron de cono hueco a 65° de disco cerámico. En el pulverizador convencional, la distancia entre boquillas fue de 250 mm, mientras que en el caso del prototipo la separación fue de 270 mm en las cuatro boquillas de la barra inferior, y 310 mm en las tres boquillas de la barra superior. Ambos pulverizadores requirieron un ajuste en las boquillas para conseguir el caudal, cono de proyección y dirección adecuada.

El volumen de aplicación por árbol fue de 7,1 litros con boquillas de 1.5 mm y 20000 m³/h de aire en el caso del pulverizador convencional, mientras en el prototipo, mediante boquillas de 0.8 mm y una menor presión, la cantidad aplicada fue de 4,5 litros suministrada por un mediante un motor Honda GX25 de 0,75 CV. En este último caso, la corriente de aire se generó con tres sistemas sopladores Stihl BR550 suministrando un total de 2700 m³/h. Los ensayos se realizaron so-

bre una plantación extensiva tradicional de tres pies, con 100 plantas por hectárea en un marco 10x10 m. La altura media fue de 5 m y el diámetro de 4,5 m. La presión de trabajo en el pulverizador convencional fue de 1800 kPa, mientras que en el prototipo un valor de 1000 kPa fue adecuado.

La eficiencia de cada sistema fue evaluada mediante papeles hidrosensibles fijados a las ramas y aplicación de agua como producto a pulverizar, con lo que es posible evaluar la aplicación de forma cualitativa y cuantitativa. Se trata de un método colorimétrico basado en papel tratado químicamente en su superficie, de forma que su color cambia cuando entra en contacto con una solución acuosa, pudiendo caracterizar la población de gotas. Este método ha sido validado por varios autores [15], [16].

Los papeles hidrosensibles fueron escaneados y procesados en Matlab® (*Image Processing Toolbox*), junto a algunos algoritmos desarrollados. Éstos se dispusieron de forma que se pudiese valorar la distribución de producto en la masa foliar, el efecto de la deriva y pérdidas en el suelo. Se utilizaron 6 papeles hidrosensibles en el suelo y 6 para la medición de la deriva; todos de 78x40 mm, distribuidos según indica la Fig. 8. Igualmente, en la Fig. 9 se muestran las posiciones de los 9 testigos sobre la masa foliar, distribuidos en tres profundidades y tres alturas en el plano medio del árbol. En el caso de los posicionados en el árbol, los resultados fueron utilizados para verificar la similitud entre la pulverización realizada por ambos sistemas.

Se realizaron tres ensayos para el prototipo y uno para el convencional, teniendo en cuenta que éste último ha sido evaluado por otros autores. Entre ensayos consecutivos se dejó el tiempo suficiente para que la planta se secase completamente, disponiendo los papeles hidrosensibles en las mismas posiciones y orientaciones. De esta forma puede obtenerse una comparación más acertada entre ambos pulverizadores, reduciendo la variabilidad impuesta por la geometría del árbol y reduciendo asimismo el número de ensayos. Las características de la población de gotas fueron determinadas para facilitar la justificación de resultados.

Asimismo, la velocidad de avance fue fijada y evaluada en todos los casos, a 3,5 km/h. Las condiciones ambientales fueron evaluadas en cada ensayo, no mostrando diferencias significativas, siendo repetitivas las condiciones de ensayo para todos los casos.

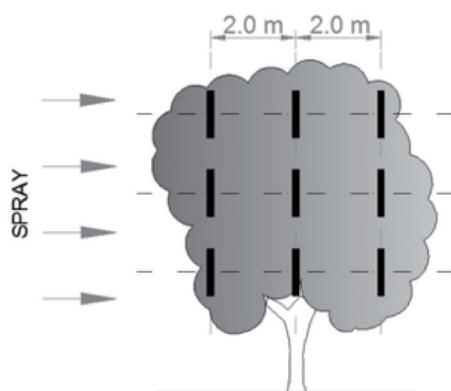


Fig. 8: Distribución de los papeles hidrosensibles para la cuantificación de pérdidas en el suelo y por deriva

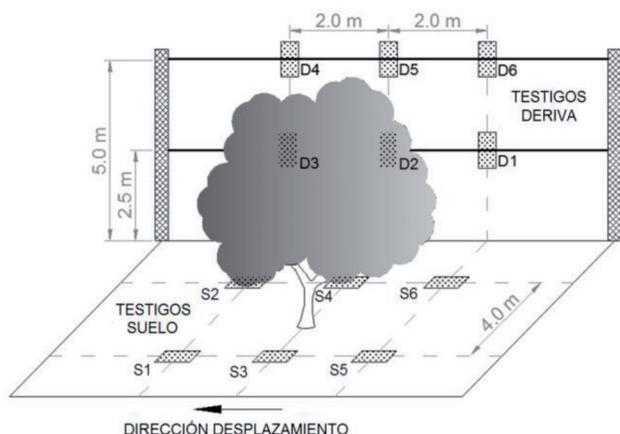


Fig. 9: Distribución de los papeles hidrosensibles para la valoración de deposición en el árbol

3. RESULTADOS

Los resultados de cubrimiento y población de gotas fueron clasificados en función del lugar en el que fueron posicionados los testigos hidrosensibles, distinguiendo entre el suelo y deriva, situados estos a una altura con respecto al suelo de 2,5 y 5,0 metros. Las pérdidas en el suelo son descritas en la Tabla 1 y Fig. 10. Los códigos S1..S6 denotan la posición del papel hidrosensible según la Fig. 8. En la misma se indican los valores medios de cubrimiento para cada ensayo, así como para cada sistema de aplicación, apreciándose claras diferencias en éstos últimos. El área cubierta por el prototipo (17,9%) es del orden de la cuarta parte del convencional (79,8%). Los valores de cobertura se muestran en la figura. El eje vertical muestra el porcentaje de cobertura en los papeles hidrosensibles.

Los niveles de cubrimiento correspondientes a la deriva se muestran en la Tabla 2. Los códigos D1, ..., D6 se correspon-

ponen a valores medios de los tres ensayos. Muestra los parámetros más importantes que caracterizan a la población de

	Posición papel hidrosensible						Media	Media de Pulverizador
	S1	S2	S3	S4	S5	S6		
Test 1 (P)	23,79	52,30	4,04	9,91	39,85	1,60	21,9	17,9
Test 2 (P)	29,85	39,63	26,79	5,54	24,51	14,28	23,4	
Test 3 (P)	0,60	3,73	5,51	1,52	21,56	16,8	8,3	
Test 4 (C)	45,79	92,59	68,88	87,77	95,11	88,41	79,8	79,8

Tabla 1: Niveles de cubrimiento en el suelo para los tres ensayos realizados con el prototipo desarrollado y el pulverizador convencional

		Posición papel hidrosensible			Media	Media Pulverizador
		D1	D2	D3		
Deriva a 2.5 metros		D1	D2	D3	18,9	18,5
	Test 1 (P)	0,9	1,2	54,6	8,2	
	Test 2 (P)	1,5	0,4	22,6	28,3	
	Test 3 (P)	79,1	0,14	5,8	45,0	
	Test 4 (C)	71,7	10,6	52,8	45,0	45,0
Deriva a 5.0 metros		D4	D5	D6	15,3	11,3
	Test 1 (P)	42,6	3,2	0,1	13,8	
	Test 2 (P)	39,5	1,0	0,8	4,9	
	Test 3 (P)	13,0	0,7	1,1	52,3	
	Test 4 (C)	42,6	26,1	88,3	52,3	52,3

Tabla 2: Nivel de cubrimiento en testigos para deriva para los tres ensayos realizados con el prototipo desarrollado y el pulverizador convencional

den con las posiciones indicadas en la Fig. 8. Se describen los niveles de cubrimiento medidos a 2,5 m y 5,0 m desde el suelo en cada uno de los pulverizadores. No se han observado grandes diferencias en los niveles de cubrimiento en las dos cotas, entre 18,5% y 11,3% para el prototipo y entre 45,0% y 52,3% para el convencional. Sí se observan diferencias significativas entre los niveles de cubrimiento de cada pulverizador.

En cuanto al cubrimiento en el árbol, no hubo diferencias significativas en el área cubierta entre el prototipo y el convencional en los papeles colocados en la masa foliar, como puede advertirse en la Tabla 3, mostrando una elevada similitud entre los parámetros de la población de gotas.

El perfil de la población de gotas queda resumido en la Tabla 3, donde se indican los valores medios sobre el árbol, deriva y en el suelo. En el caso del prototipo, los datos corres-

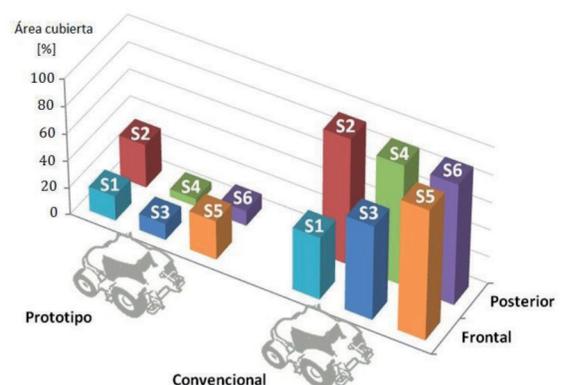


Fig. 10: Nivel de cubrimiento en el suelo en los distintos testigos para cada pulverizador

		Prototipo	Convencional
Masa foliar	VMD (μm)	193,5	208,5
	Diámetro medio (μm)	128,8	114,0
	Impactos ($\text{N}^\circ/\text{cm}^2$)	61,7	85,0
Deriva – 5,0 m	VMD (μm)	91,3	216,3
	Diámetro medio (μm)	115,0	120,0
	Impactos ($\text{N}^\circ/\text{cm}^2$)	24,0	146,3
Deriva – 2,5 m	VMD (μm)	136,8	242,9
	Diámetro medio (μm)	101,4	123,0
	Impactos ($\text{N}^\circ/\text{cm}^2$)	101,3	273,4
Suelo	VMD (μm)	232,7	276,3
	Diámetro medio (μm)	120,2	269,2
	Impactos ($\text{N}^\circ/\text{cm}^2$)	130,0	63,2

Tabla 3: Características de la población de gotas

gotas, como el diámetro volumétrico medio (VDM, definido como aquel que divide el espectro de gotas en dos porciones de tal manera que la suma de los volúmenes de todas las gotas mayores que el VDM es igual a la suma de los volúmenes de todas las gotas menores que éste), el diámetro medio y el número de impactos por centímetro cuadrado para cada sistema y en cada posición. Se han tomado los valores medios en cada una de las posiciones, teniendo en cuenta que no aparecían dispersiones significativas entre los mismos. Los datos han sido afectados del factor de corrección de expansión. Este factor considera la expansión de la gota cuando ésta se deposita sobre el papel hidrosensible, tal y como se evalúa en otros estudios [17] y [18], que muestran valores similares en función del tamaño del impacto. La aplicación de este factor permite comparar los parámetros en el caso de emplear otras técnicas de medida. La población de gotas en el árbol fue muy similar en ambos sistemas, mientras que el diámetro y número de impactos fue superior en la mayoría de los casos mediante el convencional. El tamaño de gota característico es superior en el caso del suelo, ya que por el efecto de su peso son las primeras en caer, mientras que las más livianas continúan arrastradas en forma de deriva.

Los niveles de potencia consumidos por ambos sistemas pueden ser advertidos teniendo en cuenta los niveles de presión y caudal empleados en cada caso. El pulverizador convencional incorporó un ventilador capaz de suministrar 20000 m^3/h por lado, mientras que el prototipo utilizó solamente 2700 m^3/h sobre la misma masa foliar. En cuanto a la bomba de agroquímicos, el convencional tuvo que suministrar 1800 kPa y 7,1 l/árbol, y en el caso del prototipo 1000 kPa y 4,5 l/árbol para la misma velocidad de avance. Términos adicionales aparecen en

la potencia requerida para el arrastre del sistema que, al ser más reducida la cantidad total de agroquímicos aplicada, la potencia de arrastre requerida también se verá reducida.

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El desarrollo de un sistema de pulverización flexible y adaptable a los distintos tipos de plantaciones existentes, tanto en distancia entre plantas arbóreas como en altura de las mismas, plantea un concepto distinto en la aplicación de los productos fitosanitarios, mejorando notablemente los valores de pérdidas de producto por deriva y en el suelo.

Los términos de deriva a media altura, 2,5 metros sobre el suelo, muestra valores de cobertura más reducidos en el caso del prototipo, 18,5% frente al 45,0% en el convencional. También el número de impactos fue más reducido en el caso del prototipo, además del tamaño medio de la población de gotas. Todo ello se traduce en una reducción de pérdidas de producto. Del mismo modo, los términos de deriva a 5,0 metros sobre el suelo muestran valores similares que a alturas medias. Los valores indican un diámetro medio de 115,0 μm y 24 impactos por centímetro cuadrado; y en el caso del convencional, de 120,0 μm y 146,3 impactos por centímetro cuadrado.

Además, el prototipo muestra los mejores resultados en cuanto a cantidades depositadas sobre el suelo. La cobertura media en el prototipo es del 20%, mientras que el convencional muestra valores del 80%. Aunque el prototipo muestra un mayor número de impactos, 130 cm^{-2} , el efecto es compensado por una fuerte reducción del tamaño de gota, de 120,2 μm , frente a 269,2 μm del convencional.

En todos los casos, ambos pulverizadores consiguen aproximadamente el mismo resultado en la masa foliar para la configuración seleccionada. El análisis del espectro de gotas en la masa foliar muestra valores muy similares en cuanto a número y tamaño de gotas. Los valores de VDM se encuentran entre los recomendados por [19], aunque la densidad de impactos es apreciablemente mayor a la recomendada. Estos resultados pueden ser optimizados mediante el ajuste de la velocidad de movimiento en ambos pulverizadores.

Además, los requerimientos de potencia fueron claramente más reducidos en el caso del prototipo para conseguir el mismo efecto sobre la masa foliar.

Los resultados manifiestan una reducción considerable en las pérdidas de agroquímicos, reduciendo de esta manera los efectos medioambientales y costos de las operaciones de lucha

química. Ventajas adicionales pueden encontrarse como consecuencia de una reducción en los requerimientos de potencia por parte del sistema.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el plan propio del Plan de Apoyo a la Investigación de la Universidad de Jaén, de la Junta de Andalucía, Consejería de Economía, Innovación y Ciencia.

Igualmente se manifiesta el agradecimiento por parte de los autores a Castillo de Canena por el galardón recibido en II Premio Castillo de Canena de Investigación Oleícola "Luis Vañó".

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Celen I H, Durgut M R, Avci G. G, Kilic E. "Effect of air assistance on deposition distribution on spraying by tunnel-type electrostatic sprayer". *African Journal of Agricultural Research*. December 2009. Vol.4-12, p.1392-1397.
- [2] Nordbo E. "Effects of nozzle size, travel speed and air assistance on deposition on artificial vertical and horizontal targets in laboratory experiments". *Crop Protection*, Vol.11-3. June 1992. p.272-278. (doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0261-2194\(92\)90049-B](http://dx.doi.org/10.1016/0261-2194(92)90049-B)).
- [3] Cross J V. "Deposits on apple leaves from medium volume, low volume and very low volume spray applications with an axial fan sprayer". BCPC Monograph. Air-Assisted Spraying in Crop Protection. Vol.46. 1991. p.263-268.
- [4] Vercruyse F, Steurbaut W, Drieghe S, Dejonckheere W. "Off target ground deposits from spraying a semi-dwarf orchard". *Crop Protection*. November 1999. Vol.18. p.565-570. (doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0261-2194\(99\)00060-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0261-2194(99)00060-5))
- [5] Cordell S, Baxter T P.. Pesticide Drift. College of Agriculture and Life Sciences, University of Arizona (Tucson, AZ). September 1998. p. 4. Online en: <http://hdl.handle.net/10150/146695>. Consultado: 17-09-2014.
- [6] Salyani M, McCoy C W. "Spray Droplet Size Effect on Mortality of Citrus Rust Mite" 1989. Pesticide Formulations and Application Systems, ASTM STP 1036, ASTM International, West Conshohocken. p.263-273.
- [7] Boina D R, Salyani M, Siddharth T, Pelz-Stelinski K, and Stelinski L L. "Spray Droplet Size Affects Efficacy of Fenprothrin Against Asian Citrus Psyllid". ASTM International. Marzo 2013. Pesticide Formulations and Delivery Systems: Innovating Legacy Products for New Uses. STP 1558. (doi: <http://dx.doi.org/10.1520/STP104310>)
- [8] Smith D, Askew S, Morris W, Shaw D, and Boyette M. "Droplet size and leaf morphology effects on pesticide spray deposition". 2000. American Society of Agricultural Engineers. Vol.43-2 p.255-259.
- [9] Matthews G A. *Pesticide Application Methods*. 2ª Ed. Essex, England 1992. Longman Scientific & Technical. ISBN: 978-1-118-35130-7.
- [10] Grisso R, Hipkins S, Askew L, Hipkins L, McCall D. *Nozzles: Selection and Sizing* [en línea]. 2013. Virginia Cooperative Extension. p.442-032.
- [11] Porras-Soriano A, Porras-Soriano M, Porras-Piedra A, Soriano-Martín M. "Comparison of the pesticide coverage achieved in a trellised vineyard by a prototype tunnel sprayer, a hydraulic sprayer, an air-assisted sprayer and a pneumatic sprayer". 2005. Spanish Journal Of Agricultural Research, Vol.3-2. p.175-181. (doi: <http://dx.doi.org/10.5424/sjar/2005032-138>).
- [12] López-Alba E, Dorado-Vicente R, Vasco-Olmo J, Díaz-Garrido F A. "Diseño y desarrollo de una pinza vibradora para uso agrícola". *DYNA*. Enero 2012. Vol. 87-1. p.117-119. (doi: <http://dx.doi.org/10.6036/4099>).
- [13] Porras-Soriano A. "Mejora de la tecnología de la pulverización de productos fitosanitarios sobre plantaciones en vid de espaldera". Dirección: Montes-Tubío F, Porras-Piedra A. Tesis Doctoral. Universidad de Córdoba. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes. 2006.
- [14] Viret O, Siegfried W, Holliger B, Raisig U. "Comparison of spray deposits and efficacy against powdery mildew of aerial and ground-based spraying equipment in viticulture". *Crop Protection*. Septiembre 2003. p. 1023-1032. Vol.22-8. (doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0261-2194\(03\)00119-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0261-2194(03)00119-4))
- [15] Pierce R, Ayers P D. "Evaluation of deposition and application accuracy of a pulse width modulation variable rate field sprayer". 2001. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*. Annual International Meeting. Vol.01-1077. (doi: 10.13031/2013.3432)
- [16] Sánchez-Hermosilla J, Median R, Vázquez J C. *Improvements in pesticide application and greenhouses* [en línea]. 2003. Consultado: 10-09-14. Publicaciones Cajamar. 7 p.
- [17] May K R. "The measurement of airborne droplets by the magnesium oxide method". 1950. *Journal of Scientific Instruments*. Vol.24, 128-30.
- [18] Zaske, J. "Bestimmung und Bewertung von Tropfchengrossenspektren bei lanzenschutzdüsen". 1971. Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdüsen, Abril 1970. Vol.22-2. p.17-24.
- [19] Porras-Piedra A, Porras-Soriano A. "Tecnología de la Pulverización de productos fitosanitarios sobre las plantas cultivadas" [en línea]. 2001. Consultado: 29-08-14. Ponencia en II Simposium Internacional Uso de Herbicidas en la Agricultura del siglo XXI. Córdoba. 14 p.