



## PROTOTIPO PARA LA APLICACIÓN DE FITOSANITARIOS PROPORCIONAL AL TAMAÑO DE LOS ÁRBOLES EN CÍTRICOS

Sozzi-Rodríguez Antonio José<sup>1</sup>, Ortí-García Enrique<sup>2</sup>, Cuenca- Cuenca Andrés<sup>2</sup>,  
Val- Manterola Luis<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dpto. Ingeniería Agrícola, Decanato de Agronomía, Universidad Centroccidental  
"Lisandro Alvarado" (UCLA). Barquisimeto. Venezuela. [asozzi@ucla.edu.ve](mailto:asozzi@ucla.edu.ve)

<sup>2</sup>Dpto. de Ingeniería Rural y Agroalimentaria, Universidad Politécnica de Valencia.  
Valencia. España. [lval@dmta.upv.es](mailto:lval@dmta.upv.es)

**ASA/NT -2017-11**

**Recibido: 08-11-2017**

**Aceptado: 27-09-2018**

### RESUMEN

La imperante necesidad de reducción del uso de fitosanitarios, que ayude a mitigar su efecto sobre el ambiente, hace que sea necesaria la aplicación de fitosanitarios de manera más precisa, por lo que en este trabajo se presentan el diseño y los primeros resultados de un prototipo de pulverizador hidroneumático diseñado para una aplicación que tenga en cuenta el tamaño de los árboles. El prototipo diseñado está dotado de deflectores y barras prácticamente verticales. Se le incorporan tres sensores de ultrasonidos para la detección de la distancia al árbol a tres alturas. La información obtenida de dichos sensores es enviada a un controlador de automatización programable. La programación realizada en Labview para su control tiene en cuenta las características específicas de cada árbol y permite emplear diferentes criterios para conseguir diferentes objetivos. En los ensayos de campo con dos variedades de cítricos, Clemenules y Orogrande, distribuyendo un volumen de 3000 L/ha como referencia, se ha comprobado cómo se pueden mantener índices de recubrimiento similares a los obtenidos con un diseño convencional, pero con un ahorro del 25 al 30% del volumen distribuido.

**Palabras clave:** Aplicación proporcional, cítricos, pulverización, sensor.



## PROTOTYPE FOR THE APPLICATION OF PROPORTIONAL PHYTOSANITARIES TO THE SIZE OF TREES IN CITRUS

### ABSTRACT

The prevailing need to reduce the use of phytosanitary products, which helps mitigate its effect on the environment, makes it necessary to apply phytosanitary products more precisely, so in this work the design and the first results are presented of the evaluation of an experimental air-assisted sprayer designed to adapt application doses to tree canopy size. The prototype features vertical booms and customized air vents in conjunction with three ultrasonic rangefinders to estimate distances to targeted trees at three different heights. These ranges are continuously being sent to the decision making processor which applies a logic rule based on different criteria adjusted to the specific objectives selected for each application. Multiple field tests were performed in orange groves with varieties Clemenules and Orogrande. After applying a reference volume of 3000 l/ha, results showed that spraying savings up to 30 % are possible while maintaining the same coverage rates.

**Keywords:** Application proportional, citrus, pulverization, sensor.



## INTRODUCCIÓN

La necesidad de un ajuste preciso de los pulverizadores de productos fitosanitarios, para lograr un aprovechamiento óptimo de las cantidades de caldo distribuidas, es compartida por los técnicos interesados en la agricultura de precisión. La misma Comisión Europea, en la Directiva sobre uso sostenible de fitosanitarios, incluye como uno de sus objetivos “mejorar la calidad y la eficacia de los equipos de aplicación de plaguicidas para que los usuarios puedan optimizar la eficacia de los tratamientos, minimizando a la vez los eventuales efectos negativos sobre la salud humana y el ambiente” (Comisión Europea, 2006).

En la línea de conseguir ese objetivo, se ha producido en las últimas décadas una importante incorporación de tecnología a los equipos de aplicación de fitosanitarios. En aquellos destinados al tratamiento de cultivos bajos, los resultados pueden ser catalogados como muy satisfactorios, dado que han logrado mejorar la precisión de dichos equipos. Estas tecnologías están constituidas principalmente por elementos electrónicos que contribuyen a la monitorización, control y regulación del

proceso de aplicación del fitosanitario. En el caso de los cultivos arbóreos, el proceso de incorporación de tecnología ha sido más lento, por tratarse de cultivos que ocupan menores superficies. Además, los árboles frutales tienen portes y densidades muy diversas, superficies foliares variables a lo largo del tiempo y es común encontrar diferencias significativas en todos estos aspectos incluso en una misma fila (Pai et al. 2009). Todo ello sucede en particular en el caso de los cítricos, ya que presentan gran densidad en sus copas (Furness et al., 1998; Salyani et al. 2002) y mucha variabilidad en sus tamaños, lo que ha dificultado los avances en la adaptación de las máquinas al cultivo y viceversa (Fox et al. 2008). Su resolución permitiría avanzar en otros aspectos como la cantidad de aire necesaria (Fox et al. 2008) o el control de la deriva (Stover et al. 2002).

Para calcular la dosis necesaria en un caso concreto, existen diversos sistemas, que de una u otra forma toman en cuenta las características de la vegetación. El más extendido se basa en el tamaño de la copa. Así, el conocido método TRV (Tree Row Volume) (Byers et al. 1971) se basa en conocer el volumen del seto que forman las copas y aplicar un volumen de caldo



previamente establecido como correcto por unidad de volumen. Pero la incorporación de las TIC (Tecnologías de la Información y la Comunicación) a los pulverizadores permite diseñar sistemas más precisos al poder disponer instantáneamente de datos del tamaño del árbol que se está tratando. Para obtener esta información, se han utilizado distintos tipos de sensores: de ultrasonidos (Escolá, 2002), que permiten conocer la distancia desde el equipo a la copa en diferentes puntos o el aún más preciso LIDAR (Sanz et al. 2004) que permite conocer con mucho más detalle la forma de la copa. Pero estos trabajos se han realizado con frutales en espaldera (Escolá et al. 2007) o viña (Gil et al. 2007). Al ser escasos los trabajos sobre equipos con estas características para cítricos (Moltó et al. 2001), este equipo de investigadores, ha considerado de interés desarrollar un equipo específicamente pensado para cítricos, que como es bien sabido, se conducen dando a los árboles forma globular.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El prototipo diseñado consiste en un pulverizador hidroneumático dotado de deflectores y barras prácticamente verticales, al que se le incorporan tres

sensores de ultrasonidos para la detección de la distancia al árbol (Figura 1). El rango disponible de detección de cada sensor es de 40 a 300 cm, y su frecuencia de respuesta es 2 Hz. Los sensores de proximidad se han colocado a tres alturas (0,7, 1,4 y 2,1 m) para poder detectar el volumen de vegetación en las partes baja, media y alta del árbol.

La información obtenida de los sensores es enviada a un controlador de automatización programable (PAC) que ejecuta una aplicación en LabVIEW Real-Time que permite el almacenamiento, control y registro de datos.

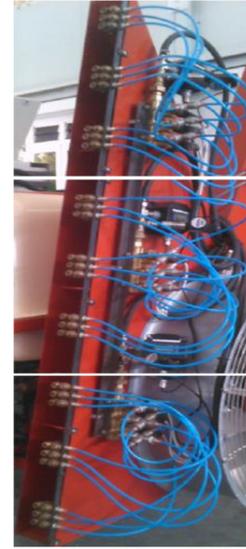
A través de los módulos de salida que están conectados con nueve electroválvulas de respuesta rápida, la aplicación controla la apertura y cierre de tres grupos de boquillas de diferente caudal (Figura 2). De esta forma es posible modificar el caudal de líquido que se está aplicando en cada momento en las tres alturas del árbol, en función de la distancia del sensor de ultrasonidos a la vegetación.

Con este diseño, el equipo trabaja siempre a la presión predeterminada, existiendo una mínima variación en el tamaño de gotas proyectadas y pudiendo

enviar caudales diferentes a cada una de las alturas.



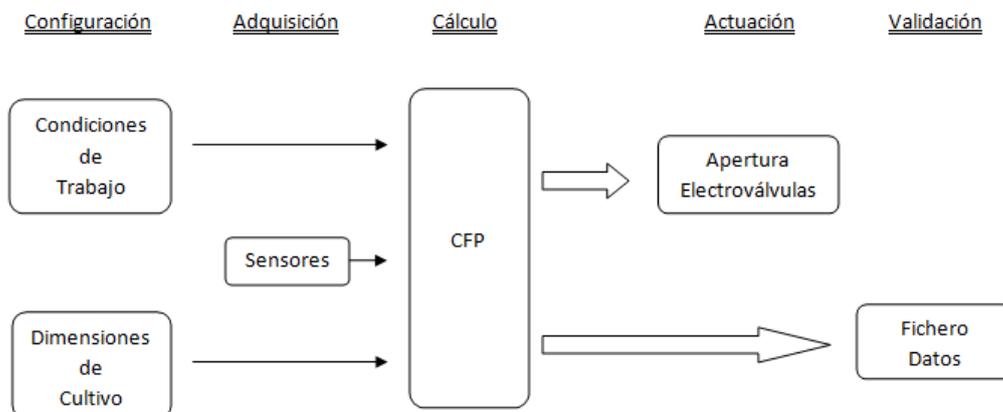
**Figura 1. Visión general del prototipo**



**Figura 2. Barra portaboquillas con sistema de control y sensores para adquisición de datos**

Para la validación del prototipo, se han colocado sensores para la medida del caudal y la presión en cada uno de los tres sectores verticales que envían la información a la unidad de procesado

donde se almacena para su posterior análisis. La aplicación, en LabVIEW Real-Time, se ha diseñado atendiendo al diagrama de flujo de la Figura 3.



**Figura 3. Diagrama de flujo de la aplicación realizada en LabVIEW Real-Time.**



Tras realizar ensayos preliminares en laboratorio, en los que se comprobó el correcto funcionamiento de los sensores de ultrasonidos, caudal y presión, las electroválvulas y las boquillas (apertura y cierre de éstas en el momento previsto), se decidió ensayar la máquina en campo con dos variedades de cítricos (Clemenules y Orogrande). En estas pruebas se determinó:

- El porcentaje de recubrimiento medio y la uniformidad de la distribución de producto en el árbol
- El consumo total de producto.

Se realizaron 4 tratamientos diferentes:

**Tratamiento 1:** Volumen de aplicación constante (3.000 L/ha), obtenido cuando el caudal del equipo es de 60 L/min. Es decir, 30 L/min en el sector izquierdo y derecho, y 10 L/min en cada uno de los tres tramos del sector, inferior, medio y superior (I, M, S).

**Tratamiento 2:** Volumen de aplicación variable, obtenido aplicando un caudal mínimo en cada uno de los tramos I, M y S de 3,3 L/min cuando la vegetación tiene una profundidad inferior a d, un caudal medio de 6,6 L/min en el intervalo (d, 2d),

y un caudal máximo de 10 L/min en el intervalo (2d, 3d), siendo 3d la profundidad máxima del árbol.

**Tratamiento 3:** Volumen de aplicación variable, obtenido con un caudal constante de 10 L/min en cada uno de los tramos de cada sector trabajando en zonas donde hay vegetación, y con un caudal nulo en las zonas donde no la hay.

**Tratamiento 4:** Volumen de aplicación variable, obtenido aplicando un caudal en cada uno de los tramos I, M y S de 10 L/min cuando la vegetación tiene una profundidad inferior a 2d y 6,6 L/min en el intervalo (2d, 3d), siendo 3d la profundidad máxima del árbol.

En los 4 tratamientos la velocidad de avance del equipo fue de 1,9 km/h, la presión de trabajo de las boquillas 12 bar, el caudal del aire producido por el ventilador del equipo 28.000 m<sup>3</sup>/h y la velocidad media del aire a la salida del ventilador 13,1 m/s.

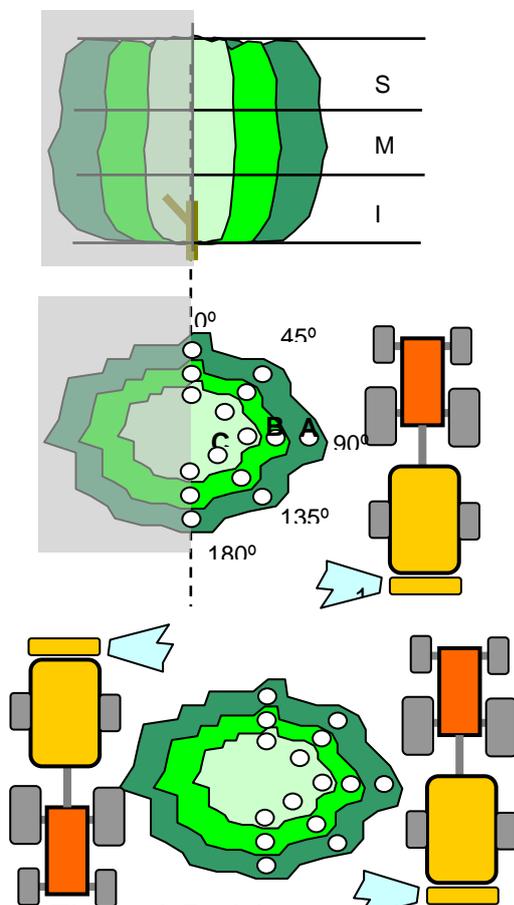
Para determinar el porcentaje de recubrimiento medio y la uniformidad de la distribución de producto se colocaron 2 papeles hidrosensibles, simulando el haz y

el envés de la hoja en 45 posiciones del árbol (Figura 4).

Para la medida del porcentaje de recubrimiento se empleó un opacímetro que proporciona un índice de recubrimiento. El índice de recubrimiento

puede variar entre 1 y 10. La relación entre dicho índice (I) y el % de recubrimiento (R) se puede obtener mediante la ecuación (1):  $R = ((I - 3,55655) / 0,499239)^2$

$$R^2 = 84\% \quad (1)$$



**Figura 4. Posiciones en las que se colocaron los papeles hidrosensibles.**

Zona	Profundidad	Ángulo
Inferior (I) a menos de 1m	A (<0,5 m)	0
		45
		90
		135
	B (0,5 a 1 m)	0
		45
		90
		135
	C (> 1 m)	0
		45
		90
		135
Media (M) de 1 a 2 m	A (<0,5 m)	...
	B (0,5 a 1 m)	...
	C (> 1 m)	...
Superior (S) a más de 2 m	A (<0,5 m)	...
	B (0,5 a 1 m)	...
	C (> 1 m)	...

Ahora bien, considerando que en la mayoría de los tratamientos es suficiente con porcentajes de recubrimiento foliar del 20-30 %, lo exigible es mantener un índice de recubrimiento mínimo de 6.

### Análisis de los datos

Para analizar los datos se usó el programa estadístico STATGRAPHY 15.0 para Windows, el análisis de la varianza de un



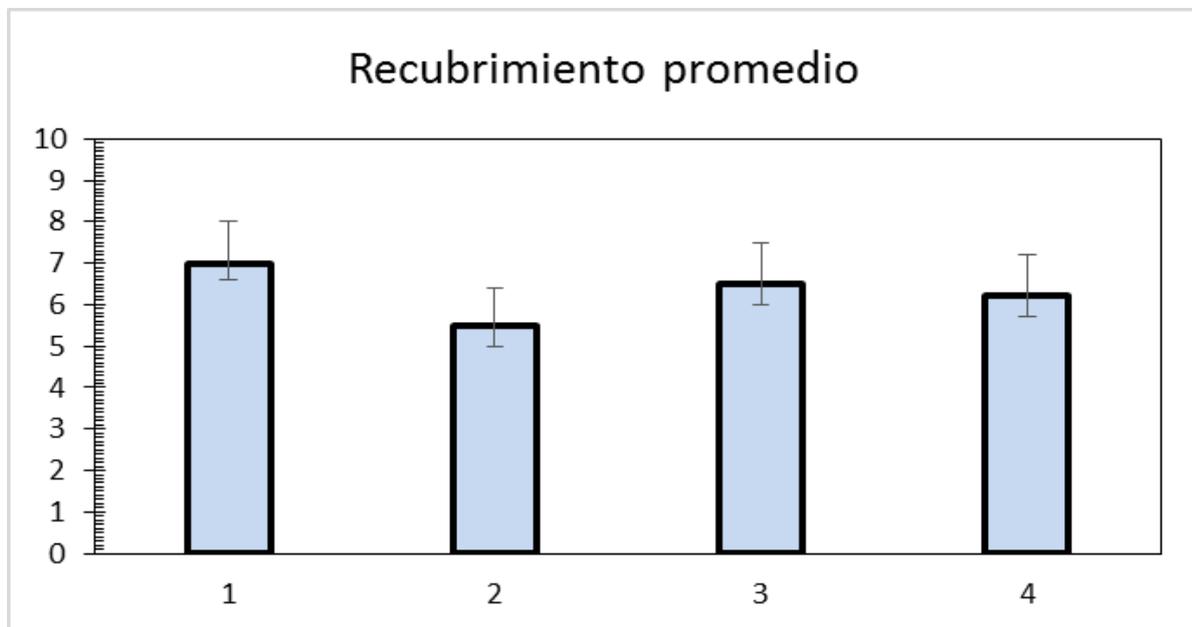
factor (ANOVA) y prueba de Tukey para

comparación de medias.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 5 se observa que no hay diferencias significativas en el índice de recubrimiento medio obtenido en los árboles de las dos variedades estudiadas,

entre el tratamiento 1 (convencional) y los tratamientos 3 y 4. Por el contrario, si hay diferencias significativas entre el 1 y el 2.



**Figura 5. Intervalos HSD de Tukey del índice de recubrimiento medio del árbol en función del tratamiento realizado en las dos variedades ensayadas.**

Analizando ambas variedades por separado, en la figura 6 se recogen los resultados obtenidos en la variedad Clemenules. Se aprecia como ya en el tratamiento convencional 1 existen zonas de la copa, particularmente en la parte alta, donde el recubrimiento es insuficiente. Probablemente ello es debido a la poca

altura de las barras verticales para tratar un árbol de este tamaño. En el tratamiento 2, el recubrimiento es insuficiente en la mayor parte de la copa del árbol (inferior a 6), pero en los tratamientos 4 y especialmente en el 3, el recubrimiento es muy similar al obtenido en el convencional, apreciándose la misma



dificultad para alcanzar convenientemente la parte superior por idénticas razones a las

ya descritas para éste.

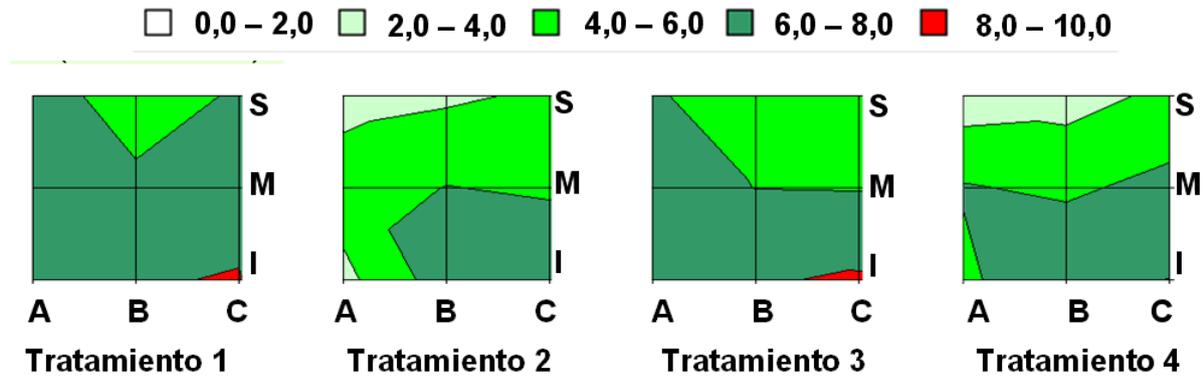


Figura 6. Gráfico del índice de recubrimiento medio en Clemenules en función del tratamiento realizado, y la profundidad (A, B, C) y altura (I, M, S) estudiadas.

En la Figura 7 se recogen los resultados obtenidos en la variedad Orogrande. Los resultados son muy similares a los obtenidos en la variedad anterior. De nuevo el tratamiento 2 obtiene recubrimientos inferiores a los restantes

pero los tratamientos 3 y 4 obtienen valores similares a los de referencia. Resulta apreciable que la menor densidad foliar de estos árboles ha permitido que en la zona central (C) se obtengan los valores más altos.

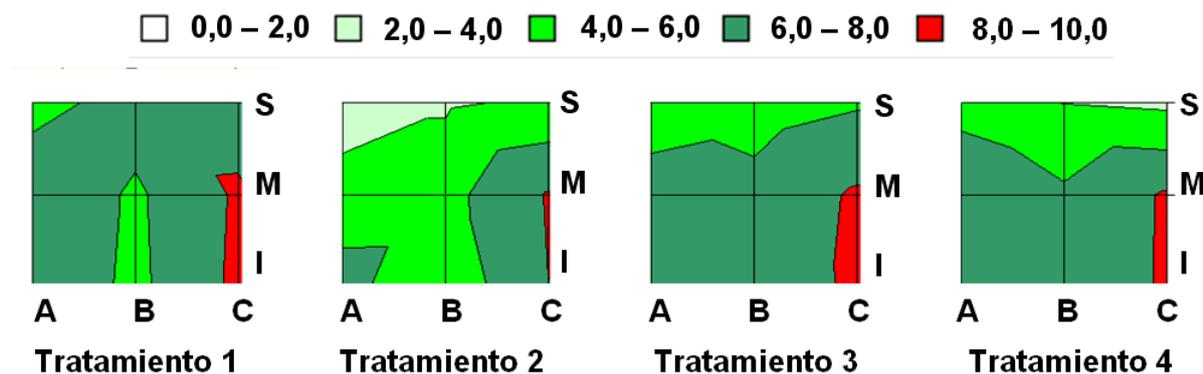


Figura 7. Gráfico del índice de recubrimiento medio en Orogrande en función del tratamiento realizado, y la profundidad (A, B, C) y altura (I, M, S) estudiadas.

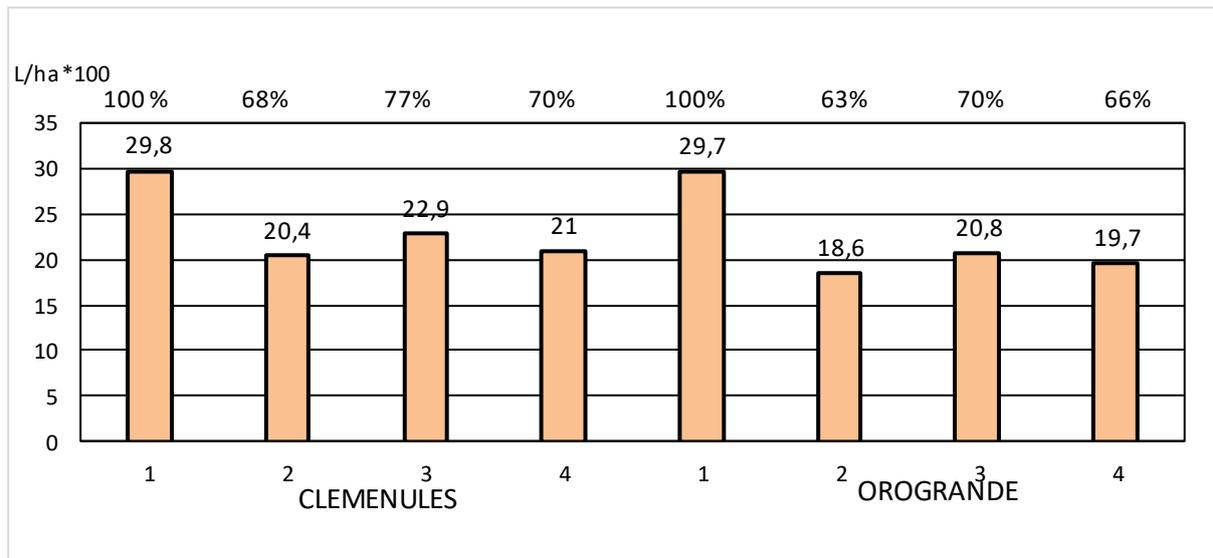
En lo referente al consumo de producto, en la Figura 8 se puede observar como el

consumo de producto varía de unos tratamientos a otros, así en el tratamiento 1



(convencional) el volumen de producto aplicado es de 3000 L/ha, en el tratamiento 2 se reduce un 33-37%, en el tratamiento 3

un 23-30%, y en el tratamiento 4 un 30-34%.



**Figura 8. Consumo de caldo en los 4 tratamientos y en las dos variedades ensayadas Clemenules y Orogrande.**

En resumen, el equipo diseñado permite modificar el volumen de producto aplicado en cada zona del árbol, en función del volumen de vegetación a tratar, lo que permite un ahorro de producto superior al 25 % manteniendo la calidad de la pulverización.

### CONCLUSIONES

Se ha diseñado un equipo que permite aplicar un caudal de líquido variable en función del volumen de vegetación a tratar

considerando la morfología específica de los cítricos

Utilizando el sistema de dosificación variable adecuado se pueden conseguir ahorros de más del 25% del caldo distribuido, manteniendo el porcentaje de recubrimiento medio del árbol y el porcentaje de recubrimiento mínimo deseado en cada una de las zonas del árbol.

### REFERENCIAS



- Byers, R.E., Hickey, K.D., Hill, C.H. (1971). *Base gallonage per acre*. Virginia Fruit, 60: 19-23.
- Comisión Europea 2006. *Estrategia temática sobre el uso sostenible de los plaguicidas*. Comisión de las Comunidades Europeas, Bruselas.
- Escolá A., Solanelles, F., Planas, S., Rosell, J.R. (2002). *Electronic control system for proportional spray application to the canopy volume in tree crops*. International Conference on Agricultural Engineering Ag Eng 2.002.
- Escolá A., Camp, F., Solanelles, F., Llorens, J., Planas, S., Rosell, J.R., Gracia F., Gil, E. (2007). *Variable dose rate sprayer prototype for tree crops based on sensor measured canopy characteristics*. 6<sup>th</sup> European Conference on Precision Agriculture. Wageningen Academic Publishers: 185-191.
- Fox, R. D., Derksen, R. C., Zhu, H., Braze, R. D., y Svensson, S. A. (2008). *A history of air-blast sprayer development and future prospects*. Transactions of the ASABE, 51(2): 405-410.
- Furness, G. O., Magarey, P. A., Miller, P. H., y Drew, H. J. (1998). *Fruit tree and vine sprayer calibration based on canopy size and length of row: Unit canopy row method*. Crop Protection 17(8): 639-644.
- Gil, E., Escolá, A., Rosell J.R., Planas, S., Val, L. (2007). *Variable rate application of plant protection products in vineyard using ultraonics sensors*. Crop Protection, 26(8): 1287-1297.
- Moltó, E., Martín, B., Gutiérrez, A. (2001). *Pesticide loss reduction by automatic adaptation of spraying in globular trees*. Journal of Agricultural Engineering Research, 78(1): 35-41.
- Pai, N., Salyani, M., and Sweeb, R. D. (2009). *Regulating airflow of orchard airblast sprayer based on tree foliage density*. Transactions of the ASABE, 52(5): 1423-1428.
- Salyani, M., Whitney, J. D., and Farooq, M. (2002). *Application of abscission sprays for mechanical harvesting of Hamlin Orange*. ASTM STP 1430 Pesticide Formulations and Delivery Systems 22: 134-147.
- Sanz, R., Palacín J., Sisó, J. M., Ribes-Dasi M., Masip, J., Arnó J; Llorens, J; Vallès J. M., Rosell JR. (2004). *Advances in the measurement of structural characteristics of plants with a LIDAR scanner*. International Conference on Agricultural Engineering Ag Eng 2.004.
- Stover, E., Scotto, D., Wilson, C., and Salyani, M. (2002). *Spray applications to citrus: overview of factors influencing spraying efficacy and off-target deposition*. IFAS Fact Sheet H S-851.