

## Prototipo de bajo coste para pulverización adaptada en cultivos en invernadero: resultados preliminares

Galiano Roa, B. A., Sánchez-Hermosilla López, J. \*, Agüera Vega, F., Martínez Carricondo, P.

*Departamento de Ingeniería, Universidad de Almería, ceiA3, CIAIMBITAL, Ctra. Sacramento s/n, 04120 Almería, España*

### Resumen

Se ha diseñado y desarrollado un sistema de aplicación de fitosanitarios en invernadero, adaptado al cultivo y de bajo coste, con el objetivo de hacerlo accesible a explotaciones de cualquier tamaño. El principal objetivo de este sistema es reducir la cantidad de fitosanitarios necesaria para el control de plagas y enfermedades en cultivos bajo invernadero. Con ello, se busca disminuir los costes de la operación, minimizar los riesgos para la salud humana y reducir el impacto ambiental asociado a la deposición de fitosanitarios en el suelo.

Para alcanzar estos objetivos, se ha implementado un sistema basado en sensores de ultrasonidos, capaces de cuantificar en tiempo real el volumen de vegetación mediante parámetros como el PRV (*Plant Row Volume*), así como detectar la ausencia de vegetación. Esta información permite accionar las electroválvulas asociadas a cada una de las boquillas de una barra pulverizadora vertical, así como una electroválvula reguladora de caudal. De esta manera, se adapta el volumen de aplicación al PRV presente en cada zona del invernadero y se evita la aplicación en áreas sin vegetación. El sistema se ha evaluado en laboratorio en un cultivo simulado, obteniendo una reducción del volumen de aplicación del 22,4% respecto a un sistema tradicional.

*Palabras clave:* Agricultura de precisión, Pulverización adaptada al cultivo, Cultivos en invernadero.

### Low-Cost Control System for the Selective Application of Phytosanitary Products in Greenhouses

#### Abstract

A plant protection product application system has been designed and developed for greenhouse use, tailored to the crop and low in cost, with the aim of making it accessible to farms of any size. The main objective of this system is to reduce the amount of pesticides required for pest and disease control in greenhouse crops. This aims to lower operational costs, minimize risks to human health, and reduce the environmental impact associated with pesticide deposition on the soil.

To achieve these goals, a system has been implemented based on ultrasonic sensors capable of quantifying vegetation volume in real time using parameters such as PRV (*Plant Row Volume*), as well as detecting the absence of vegetation. This information enables the activation of solenoid valves associated with each nozzle on a vertical spray boom, as well as a flow-regulating solenoid valve. In this way, the application volume is adjusted according to the PRV present in each area of the greenhouse, and spraying in areas without vegetation is avoided. The system was evaluated in the laboratory using a simulated crop, achieving a 22.4% reduction in application volume compared to a traditional system.

*Keywords:* Precision farming, Crop-adapted spraying, Greenhouse crops.

### 1. Introducción

La producción de hortalizas en invernadero se caracteriza por una alta densidad de siembra, temperaturas elevadas y niveles significativos de humedad, condiciones que favorecen la proliferación de plagas y enfermedades. Aunque el uso de sistemas biológicos de control es cada vez más común, el control químico sigue siendo necesario, ya sea como única estrategia o en combinación con métodos de control integrado. Todo ello sin perder de vista que uno de los principales

objetivos de la agricultura moderna es producir alimentos de alta calidad de forma más segura (Sánchez-Hermosilla et al., 2012).

En este contexto, la aplicación de productos fitosanitarios cobra una especial relevancia en el sector, y los productores son conscientes de su importancia. No obstante, aunque representan uno de los principales costes de este tipo de explotaciones, en ocasiones se subestima o se ignora el impacto negativo que puede generar un uso inadecuado de

\*Autor para correspondencia: [jusanche@ual.es](mailto:jusanche@ual.es)

estos productos. El uso excesivo de fitosanitarios conlleva una serie de riesgos medioambientales (Becerra, 2010):

- Contaminación del agua superficial y subterránea: Se produce como resultado de la aplicación de plaguicidas sobre el suelo o por el exceso de producto durante la pulverización aérea sobre las plantas, lo que provoca que parte del fitosanitario precipite y se deposite en el suelo del invernadero. A través de la percolación del agua, estas sustancias pueden alcanzar los acuíferos y contaminar las aguas subterráneas.
- Contaminación del suelo: Tiene un origen similar al de la contaminación del agua. Algunos compuestos químicos presentes en los fitosanitarios se adhieren fuertemente a los coloides del suelo —especialmente en suelos arcillosos—, lo que les permite permanecer activos durante largos periodos.
- Presencia de fitosanitarios en los productos agrícolas: Diversos análisis han detectado concentraciones de residuos que superan los límites máximos permitidos, debido al uso de plaguicidas persistentes y bioacumulativos durante el manejo del cultivo.
- Presencia de fitosanitarios en restos vegetales: De forma similar al caso anterior, estudios han identificado residuos de plaguicidas en restos vegetales procedentes de cultivos bajo invernadero que posteriormente se utilizan como alimento para animales. Esto subraya la urgencia de establecer controles adecuados sobre los residuos postcosecha, especialmente cuando se destinan a la alimentación animal.
- Presencia de fitosanitarios en los plásticos de invernadero: Al igual que ocurre con el suelo, parte del producto aplicado puede impregnarse en las cubiertas plásticas del invernadero y en los materiales plásticos utilizados para cubrir el suelo. Estos materiales pueden absorber los fitosanitarios, por lo que es fundamental extremar las precauciones en su manipulación y gestión como residuos.

Otros aspectos a tener en cuenta en el uso de los productos fitosanitarios y no menos importantes son:

- Estos productos son peligrosos para la salud de aquellas personas que los manipulan y acentuándose aún más por las características que tiene un invernadero al tratarse de un espacio cerrado, de manera que, los aerosoles que se producen con la pulverización se quedan dentro del recinto aumentando su concentración que posteriormente son inhalados por los operadores que están realizando las tareas de aplicación (Rincón, et al., 2018).
- El alto coste económico que tienen los productos, que hace que los tratamientos deban de ser optimizados para evitar una reducción en los beneficios.

La aplicación de productos fitosanitarios en invernadero se realiza mayoritariamente mediante pistolas/lanzas acopladas a un sistema fijo de pulverización, debido a que se trata de equipos de bajo coste, que se adaptan bien a diferentes configuraciones de cultivo en invernadero y son fáciles de usar (Sánchez-Hermosilla, et al., 2012). Sin embargo, son equipos de bajo nivel tecnológico que suelen trabajar a elevadas presiones y con volúmenes de aplicación excesivos, dando

lugar a importantes pérdidas en el suelo (Sánchez-Hermosilla, et al., 2011 y 2012) y a un elevado riesgo de exposición de los aplicadores (An et al., 2015).

## 2. Material y métodos.

### 2.1. Sistema pulverizador.

El sistema de control de la pulverización se implementa sobre una carretilla con barras pulverizadoras verticales (Figura 1), estructura de acero galvanizado y ruedas neumáticas (Carretillas Amate S.L., Almería). Se le ha incorporado un sistema de pulverización formado por:

- Una electroválvula proporcional (463022S, ARAG SRL, Italia) que permite regular el caudal, abriendo o cerrando el orificio de paso mediante un motor de accionamiento eléctrico controlado por una señal de entrada.
- Un sensor de presión (0-10 bar) (Seafront, Walfront electronics, CN) que mide la presión que hay en cada momento en el circuito.
- Un caudalímetro para obtener la medida de caudal o el gasto volumétrico de caldo (YF-S201, Thingnovation, CN) que consta de un cuerpo de válvula de plástico, un rotor de agua y un sensor de efecto Hall.
- Una barra de pulverización vertical colocada en la parte trasera del vehículo. La barra tiene cuatro portaboquillas eléctricas, separados entre ellos una distancia de 50 cm (4064T942, ARAG SRL, Italia), en los que se le acopla una boquilla de chorro plano (XR11002-VK, Teejet)



Figura 1. Carretilla pulverizadora.

La carretilla pulverizadora se desplaza junto a una línea de cultivo simulada en el laboratorio mediante malla de rafia, realizando la aplicación únicamente en el lado donde está ubicada dicha malla. La distancia entre la boquilla pulverizadora y la malla ( $D_h$ ) está comprendida entre 30–40 cm, lo que corresponde a una anchura de vegetación estimada de 50–60 cm, considerando que las líneas de cultivo suelen estar separadas 180 cm entre sí. Sobre el suelo, y con el fin de facilitar el desplazamiento de la carretilla manteniendo la distancia adecuada, se ha colocado una cinta con franjas blancas y rojas, separada de la malla la distancia  $D_h$ . Esta

separación se ha seleccionado teniendo en cuenta que la distancia media entre el dosel y las boquillas en los tratamientos realizados en invernaderos, según estudios previos, es de aproximadamente 35 cm (Sánchez-Hermosilla et al. 2011, 2012).

### 2.2. Sistema de detección.

El sistema de detección del dosel vegetal se ha desarrollado usando sensores de ultrasonido (Figura 2) (DFRobot, modelo JSN-SR04T), los cuales se ubican en la parte delantera del vehículo, montados sobre una barra lateral dispuesta en paralelo a la barra portaboquillas. La distancia entre la barra portaboquillas y la barra portasensores es de 106 cm, estando esta última adelantada respecto a la primera. Esta configuración responde a los siguientes criterios técnicos:

- Cada sensor de ultrasonidos realiza de forma escalonada una medición en intervalos de 35 ms, por tanto, para completar un ciclo donde todos los sensores hayan realizado una medición tiene que transcurrir 140 ms (0,14 seg).
- La velocidad de trabajo de la maquina pulverizadora se establece en 1,3 m/s , ya que con velocidades inferiores no estaría justificado el uso de la misma con respecto al ahorro de tiempo en comparación con un sistema de pistola/lanza manual (Páez et al., 2015).
- Las electroválvulas portaboquillas seleccionadas tienen un tiempo de respuesta para la apertura y cierre total de 0,2 segundos y 0,5 segundos. respectivamente.

Los sensores están separados entre sí 50 cm y se ubican a la misma altura que su portaboquillas homólogo, descrito en el apartado anterior. Son capaces de medir distancias entre 20 y 350 cm, y presentan una alta resistencia al agua. Su funcionamiento se basa en el principio del tiempo de vuelo de la onda de sonido que emiten.



Figura 2. Sensor de ultrasonidos (Sensor + placa amplificadora)

### 2.3. Sistema de control.

La tarjeta utilizada para gestionar las entradas y salidas del sistema está basada en hardware y software libre y de código abierto, específicamente una placa Arduino, modelo ELEGOO UNO R3. El microcontrolador ATMEL de la placa procesa la información recibida de la interfaz de entrada y la transmite a la interfaz de salida.

Los relés son dispositivos intermedios que permiten activar actuadores desde el microcontrolador, ya que estos necesitan trabajar a una tensión y/o tipo de corriente diferente a la que proporcionan las salidas del microcontrolador usado. Esto permite controlar un circuito de salida de mayor potencia que el de entrada. Los relés seleccionados son de la marca WINGONEER® 5PCS modelo KY-019 5V.

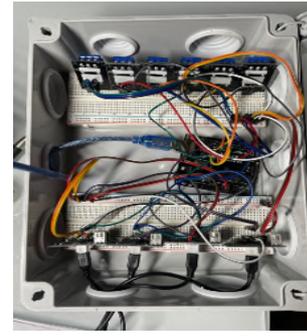


Figura 3. Detalle del módulo de control.

### 2.4. Fundamentos teóricos.

El cálculo de la dosis se ha llevado a cabo utilizando el método PRV (*Plant Row Volume*), adaptado por Sánchez-Hermosilla et al. (2013) del método TRV (*Tree Row Volume*) desarrollado por Byers et al. (1971). Este enfoque permite ajustar el volumen de caldo requerido para el control de plagas o enfermedades basado en el volumen de vegetación presente en la parcela, optimizando de esta manera la cantidad de fitosanitario empleada. Las unidades utilizadas son litros de caldo fitosanitario por metro cúbico de volumen de vegetación.

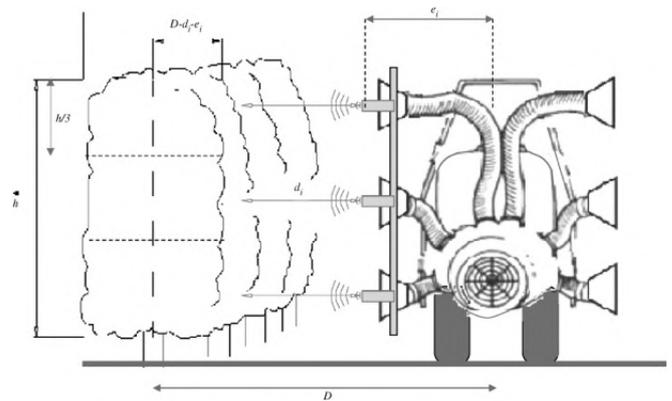


Figura 4. Medidas a realizar para calcular el volumen de vegetación. Fuente: (Gil, et al., 2007).

La expresión propuesta para su cálculo adaptada para las medidas realizadas con cuatro sensores corresponde a (1).

$$PRV \left( \frac{m^3}{ha.} \right) = \frac{(A_1 + A_2 + A_3 + A_4)(m) * h(m) * 10000 \left( \frac{m^2}{ha.} \right)}{4 * D (m)} \quad (1)$$

Donde:

- $A_1, A_2, A_3, A_4$  son los anchos de vegetación que detectan cada uno de los sensores de ultrasonidos.
- $h$  la altura de la vegetación (en este caso, 2 m).
- $D$  distancia desde la fila al centro del pasillo hasta la línea central de cultivo.

Conocido el valor de la tasa de volumen de vegetación, y con el apoyo de modelos de estimación desarrollados principalmente para el cultivo de tomate (Sánchez-Hermosilla et al., 2013), es posible estimar el volumen de aplicación en litros de caldo por hectárea correspondiente a un valor determinado de PRV (*Plant Row Volume*) previamente calculado. Estos cálculos se basan en la deposición media de

las gotas de pulverización sobre las hojas, así como en el sistema utilizado para llevar a cabo la aplicación mediante (2).

$$V (l/ha) = \frac{7 * 10^{-3} * d_v (\mu l/cm^2) * PRV (m^3/ha)^{1,25}}{\epsilon} \quad (2)$$

Donde:

- $d_v$  es la deposición media de las gotas de pulverización sobre las hojas. La deposición media de referencia utilizada es  $1,15 \mu l/cm^2$ .
- $PRV$  es el volumen de vegetación por unidad de superficie.
- $\epsilon$  es la tasa de recuperación según el equipo utilizado (60% para pistola pulverizadora y 80% para barra vertical).

### 3. Evaluación técnica.

Las pruebas se han llevado a cabo en laboratorio sobre un cultivo simulado, como se ha indicado anteriormente. A continuación se describen detalles de los ensayos realizados para validar el funcionamiento del sistema desarrollado

#### 3.1. Simulación de la vegetación en laboratorio.

Para simular la vegetación, se han montado tres estructuras, cada una compuesta por dos postes de acero con base de hormigón y una malla de rafia de color verde con una altura de 2 m. y una longitud de 5 m. Un lateral de la malla se fija verticalmente a uno de los postes, mientras que el otro extremo se sujeta al segundo poste; al separar ambos postes, se forma una superficie vertical de 2 m de alto por 5 m de largo. Al unir las tres estructuras de forma continua y cubrir los espacios entre ellas, se conforma una línea de cultivo simulada con una longitud total de 15,70 m.

#### 3.2. Ensayos en laboratorio.

##### • Ensayo N.º 1: Línea de vegetación simulada uniforme

Se realizan tres repeticiones guiando la carretilla pulverizadora por la línea marcada en el suelo y a la velocidad que se ha estimado de referencia. En este primer ensayo la malla está colocada de forma continua, sin ningún hueco, y a la misma distancia de la línea marcada (Figura 5a).

El objetivo de este ensayo es simular la inactividad del sistema de regulación de caudal, considerando una vegetación uniforme, para luego compararlo con ensayos posteriores en los que el sistema deberá de reaccionar a los cambios introducidos.

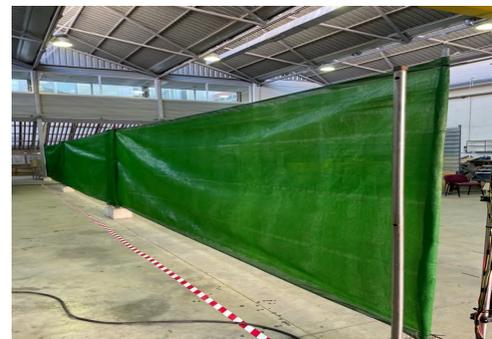
##### • Ensayo N.º 2: Línea de vegetación simulada con tramo central retranqueado

A diferencia del ensayo N.º 1, la malla central se ha desplazado 17 cm. hacia atrás con el objetivo de simular una menor anchura de vegetación en esa zona (Figura 5 b). Esta alteración implica que la anchura de vegetación, que previamente estaba entre 50-60 cm, pase a ser de 33-43 cm en la parte central.

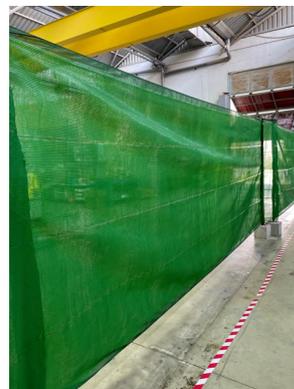
Para la toma de datos se llevaron a cabo tres repeticiones guiando la carretilla pulverizadora por la línea marcada en el suelo y a la velocidad que se ha estimado de referencia.

##### • Ensayo N.º 3: Línea de vegetación simulada con huecos

En este ensayo se evaluará la capacidad del sistema para detectar la presencia de vegetación, activando la electroválvula correspondiente en la barra de pulverización para cerrarla en caso de no detectar vegetación. Simultáneamente, al cerrarse dicha electroválvula, el sistema actuará sobre la electroválvula proporcional para regular la presión, garantizando así el caudal adecuado según el PRV en las demás electroválvulas que permanezcan abiertas. Para la simulación de estos huecos, se hicieron en la malla agujeros de aproximadamente 100 cm de longitud a distintas alturas, simulando plantas en diferentes estados de desarrollo. Además, se separaron dos mallas 45 cm, creando un hueco que representa la ausencia total de vegetación (Figura 5c). Otros huecos se realizaron de forma irregular para representar un incremento progresivo del tamaño de la vegetación en la línea. El retranqueo introducido en el ensayo N.º 2 se elimina, y toda la línea de malla se coloca a la misma distancia de la línea marcada en el suelo. Este ensayo, al igual que los anteriores, también se repite tres veces.



(a)



(b)



(c)

Figura 5. Malla de simulación de la vegetación en continuo(a). Malla retranqueada(b), Malla con huecos (c).

## 4. Resultados y discusión.

### 4.1. Análisis de datos.

##### • Ensayo N.º 1: Línea de vegetación simulada uniforme

En la Figura 6, el PRV sigue una línea constante a lo largo de la vegetación simulada. Los saltos observados se deben a que la malla no estaba completamente estirada, provocando ondulaciones que afectan la detección del espesor por los sensores.

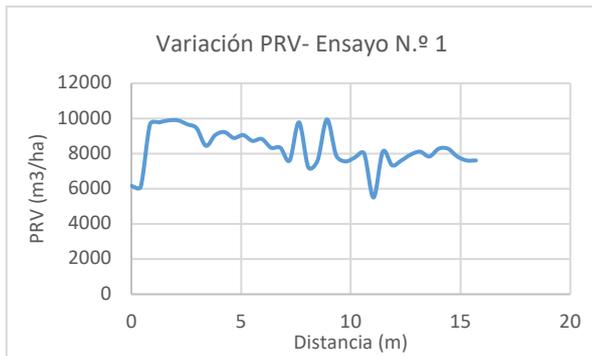


Figura 6. Variación del PRV a lo largo de la línea de vegetación simulada en el ensayo N.º 1.

• **Ensayo N.º 2: Línea de vegetación simulada con tramo central retranqueado**

En la Figura 7, se observa que el PRV permanece constante en un primer tramo, luego desciende debido al retranqueo de la malla, y finalmente sube de nuevo su valor cuando el retranqueo ya no existe (Figura 5b). Los saltos observados son por las ondulaciones en la malla, que causan diferencias de espesor captadas por los sensores.

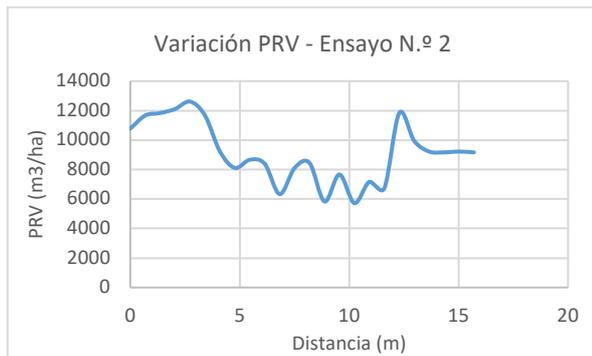


Figura 7. Variación del PRV a lo largo de la línea de vegetación simulada en el ensayo N.º 2.

• **Ensayo N.º 3: Línea de vegetación simulada con huecos**

En el ensayo, la Figura 8 se observa a lo largo del recorrido oscilaciones grandes y pequeñas. Las oscilaciones pequeñas son causadas por la malla no estirada, creando esta ondulaciones, detectando los sensores diferencias de espesor en esas áreas. Las oscilaciones grandes ocurren donde la malla tiene huecos, lo que resulta en una caída pronunciada del PRV, particularmente en los puntos a 4 y 7,5 metros. La ausencia total de vegetación se refleja con un cero, esto se puede observar en el punto 10,5 metros. El gráfico muestra un ascenso del PRV en la parte final, indicando el aumento progresivo de altura de la vegetación simulado por la malla. (Figura 5c).

Se utiliza el software estadístico SPSS (*Statistical Package for the Social Sciences*) para analizar los datos de suministro de volumen (l/ha) que se han obtenido en los ensayos y compararlos entre sí (Tabla 1), permitiendo ver si realmente con diferentes espesores de vegetación (ensayo N.º 2) y con huecos (ensayo N.º 3) el volumen suministrado es inferior al obtenido en el ensayo N.º 1 (vegetación uniforme).

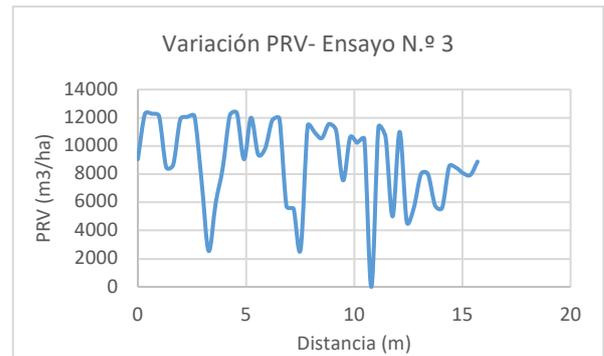


Figura 8. Variación del PRV a lo largo de la línea de vegetación simulada en el ensayo N.º 3.

De acuerdo con los resultados (Tabla 1), el sistema de dosificación selectiva cumplió su función, ya que se identificaron diferencias entre las aplicaciones en las líneas de vegetación simulada en los distintos ensayos. El volumen aplicado (l/ha) en las líneas con huecos fue menor, debido a que el sistema no pulverizó en las zonas sin malla (ausencia de vegetación), lo que permitió un ahorro del 22,4% en comparación con una aplicación sin control de pulverización. Este ahorro es menor al reportado en otros estudios, donde se lograron reducciones de entre el 38% y el 51%. No obstante, estos estudios emplearon sistemas más costosos basados en la recopilación de datos mediante sensores LIDAR (Chen et al. 2011; Liu et al. 2012; Méndez et al. 2013).

Tabla 1. Tabla de ensayos test de Duncan. Fuente: Elaborada a partir del Software SPSS.

N.º de Ensayo	Descripción	Volumen (l/ha)
1	Línea de vegetación simulada uniforme.	650,13 <sup>(b)</sup>
2	Línea de vegetación simulada con tramo central retranqueado.	683,70 <sup>(b)</sup>
3	Línea de vegetación simulada con huecos.	504,43 <sup>(a)</sup>

<sup>(a)(b)</sup> Letras diferentes implican diferencias significativas. Test de Duncan  $\alpha=0,05$

No se encontraron diferencias significativas entre la línea de vegetación simulada uniforme y la simulada con tramo central retranqueado debido a que las electroválvulas portaboquillas tienen dificultades para cerrar con presiones superiores a 6 bares, aunque la ficha técnica indica que la presión máxima de trabajo es de 8 bares. Por esta razón, se tuvo que trabajar con una presión en torno a 5-6 bares, lo que hizo que el caudal que salía por las boquillas fuese inferior al que se debería suministrar según el PRV calculado. Esta limitación impidió una regulación adecuada de la dosis en el ensayo N.º 2.

4.2. Análisis de costes del sistema de pulverización.

La Tabla 2 presenta en detalle el coste de los diversos componentes empleados en el sistema. Además, se analiza si el valor total cumple con uno de los objetivos establecidos del proyecto, que es mantener un bajo costo.

Se analiza el aumento de coste por acoplar el sistema al vehículo autopropulsado, valorado en unos 22.300 €. El montaje del sistema incrementa el precio total del vehículo en solo un 5,2%.

Para comparar el precio del sistema desarrollado con otro de características iguales o similares, se ha identificado un producto comercial fabricado por la empresa ARAG SRL,

Rubiera - Reggio nell'Emilia, Italia, denominado “Bravo 350 Orchard”. Su precio estimado es de 6.100 €, lo cual es superior al del presente proyecto.

Tabla 2. Coste de los elementos utilizados en el desarrollo del sistema de pulverización.

Descripción	Unidades	Precio unidad	Total
Microcontroladora ELEGOO UNO R3	1	9,99 €	9,99 €
Relés WINGONEER® 5PCS modelo KY-019 5V	12	1,80 €	21,60 €
Electroválvula proporcional marca ARAG, en concreto el modelo 463022S	1	210,00 €	210,00 €
Sensor de presión Seafront	1	14,79 €	14,79 €
Caudalímetro Thingnovation modelo YF-S201	1	5,08 €	5,08 €
Portaboquillas eléctrico ARAG modelo 4064T942.	8	93,75 €	750,00 €
Boquillas Teejet, modelo TTI11002	8	1,12 €	8,96 €
Sensor ultrasónicos DFRobot modelo JSN-SR04T	8	16,46 €	131,68 €
Caja estanca	1	8,30 €	8,30 €
<b>TOTAL PRESUPUESTO</b>			<b>1160,40 €</b>

## 5. Conclusiones.

El sistema cumple con los principios de la *Variable Rate Technology* (VRT), ajustándose a las necesidades específicas del cultivo. La evaluación tanto de los sensores como de los actuadores ha sido satisfactoria, permitiendo un control variable de la dosificación y una pulverización adaptada al cultivo (CAS, *Crop Adapted Spraying*).

En cuanto a los costes del equipamiento, se ha comprobado que son, en general, bajos y considerablemente inferiores a los de otros sistemas similares disponibles en el mercado. Esto hace posible su adopción por explotaciones de cualquier tamaño.

El sistema desarrollado permite detectar la presencia o ausencia de masa vegetal, así como estimar el volumen de vegetación en las simulaciones de cultivo evaluadas. El rango de detección de los sensores, entre 19 y 300 cm, resulta adecuado para las configuraciones de cultivo típicas de invernaderos del sureste de España. Además, el sistema es capaz de detectar espacios sin vegetación mayores de 50 cm mientras se desplaza a una velocidad de aproximadamente 1,3 m/s, que es la utilizada habitualmente por los productores con vehículos autopropulsados (Páez et al., 2015). No se realizaron ensayos a velocidades inferiores, ya que no se corresponden con la práctica habitual en este tipo de explotaciones.

El sistema permite un ahorro estimado del 22,4% en el volumen total de caldo aplicado, gracias a la desactivación de las boquillas en las zonas sin vegetación a lo largo de las líneas de cultivo. No se registraron ahorros significativos en cultivos con volumen de vegetación debido a limitaciones en la presión del circuito, causadas por el funcionamiento de las electroválvulas portaboquillas, que presentaron dificultades de cierre a presiones superiores a 6 bares. A pesar de esta limitación, el sistema representa un avance significativo y asequible en la mejora de los métodos de pulverización en invernadero.

## Referencias

- Asaei, H., Jafari, A., Loghavi, M., 2019. Site-specific orchard sprayer equipped with machine vision for chemical usage management. *Comput. Electron. Agric.*, 162, 431-439.
- Balsari, P., Marucco, P., Tamagnone, M., 2009. A crop identification system (CIS) to optimise pesticide applications in orchards. *J. Horticult. Sci. Biotechnol.* 84(6), 113–116
- Becerra, A., Lastra-Bravo, X., 2010. La agricultura intensiva del Poniente Almeriense. Diagnóstico e instrumentos de gestión ambiental. *M+A, Revista Electrónica de Medio Ambiente-UCM.* 8, 18-40.
- Byers, R., Hickey, K., Hill, C., 1971. Base gallonage per acre. *Virginia Fruit*, 60, 19-23.
- Cabello, T., 1996. Utilización de pesticidas en cultivos en invernaderos del sur de España y análisis de riesgos toxicológicos y medio ambientales. *Phytoma España*, 75, 11-19.
- Doruchowski, G., Swiechowski, W., Godyn, A., Holownicki, R., 2011. Automatically controlled sprayer to implement spray drift reducing application strategies in orchards. *J. Fruit Ornament. Plant Res.*, 19, 175-182.
- Escolà, A., Rosell-Polo, J.R., Planas, S., Gil, E., Pomar, J., Camp, F., Llorens, J., Solanelles, F., July 2013. Variable rate sprayer. Part 1 – Orchard prototype: Design, implementation and validation. *Comput. Electron. Agric.* 95, 122-135.
- Gil, E., Escola, A., Rosell, J.R., Planas, S., Val, L., 2007. Variable rate application of plant protection products in vineyard using ultrasonic sensors. *Crop Prot.*, (8), 1287-1297.
- Giles, D., Delwiche, M., Dodd, R., 1987. Control of orchard spraying based on electronic sensing of target characteristics. *Trans. ASABE*, 30 (6), 1624–1630).
- Guzmán, J. L., Rodríguez, F., Sánchez-Hermosilla, J., Berenguel, M., 2008. Robust pressure control in a mobile robot for spraying tasks. *Trans. ASABE*, 51, 715-727.
- Jeon, H. Y., Zhu, H., Derksen, R., Ozkan, E., Krause C., 2011. Evaluation of ultrasonic sensor for variable-rate spray applications. *Comput. Electron. Agric.* 75 (1), 213-221.
- Liu, H., Zhu, H., Chen, Y., Shen, Y., Ozkan, H. E., 2012. An electronic flow control system for a variable-rate tree sprayer. *Proceedings of the ASABE Annual International Meeting Dallas, USA.*
- McKerrow, P., Neil, H., 2001. Plant acoustic density profile model of ctmf ultrasonic sensing. *IEEE Sensors Journal* 1, 245-255.
- Mendez V, Catalan H, Rosell-Polo JR, Arno J, Sanz R., 2013. LIDAR simulation in modelled orchards to optimise the use of terrestrial laser scanners and derived vegetative measures. *Biosyst. Eng.* 115, 7-19.
- Páez, F.C., Sánchez-Hermosilla, J., Rincón, V.J., Fernández, M.M., 2015. Recomendaciones para el Cálculo del Volumen de Aplicación en Tratamientos Fitosanitarios en Cultivo de Tomate en Invernadero. *IFAPA.* 1-39 p.
- Pawlowski, A., Guzmán, J. L., Sánchez-Hermosilla, J., Rodríguez, F., Dormido S., 2017. A low-cost embedded controller design for selective spraying vehicle. *IFAC-PapersOnLine*, 50(1): 5404–5409.
- Rincón, V. J., Páez, F. C., Sánchez-Hermosilla, J., 2018. Potential dermal exposure to operators applying pesticide on greenhouse crops using low-cost equipment. *Sci Total Environ.* 630, 1181-1187.
- Sánchez-Hermosilla, J., Medina, R., Gázquez, J., 2003. Improvements in pesticide application in greenhouses. *Workshop in Spray Application Technique in Fruit Growing*, 54-54.
- Sánchez-Hermosilla, J., Páez, F., Rincón, V. J., Pérez-Alonso, J., 2013. Volume application rate adapted to the canopy size in greenhouse tomato crops. *Scientia Agricola.*, 70, 390-396.
- Sánchez-Hermosilla, J., Rincón, V., Carvajal, F., 2011. Field evaluation of a self-propelled sprayer and effects of the application rate on spray deposition and losses to the ground in greenhouses tomato crops. *Pest Manag. Sci.*, 67 (8), 942-947.
- Sánchez-Hermosilla, J., Rincón, V., Fernández, M.M., 2012. Comparative spray deposits by manually pulled trolley sprayer and a spray gun in greenhouses tomato crops. *Crop Prot.*, 31 (1), 119-124.
- Sutton, T., Unrath, C., 1984. Evaluation of the tree-row volume concept with density adjustments in relation to spray deposition in apple orchards. *Plant Dis*, 68 (6), 480-484.