

Distribución del líquido con boquillas de abanico XR.



# Efecto del número y tipo de boquillas en la calidad de las aplicaciones en invernaderos con barras verticales

La producción de hortalizas en invernadero es una actividad económica muy importante en España. Actualmente, los tratamientos en estos cultivos se realizan mayoritariamente mediante pistolas manuales que tienen una baja uniformidad en la distribución. En este contexto, se plantea este estudio que tiene por objetivo establecer las principales recomendaciones básicas para mejorar la eficiencia de las aplicaciones de fitosanitarios en cultivos verticales de invernadero.

**J. Llop; E. Gil; M. Gallart (Universitat Politècnica de Catalunya. DEAB)**

Para el estudio se ha utilizado una carretilla de pulverización con barras verticales con boquillas de abanico (XR11002 y XR110015) y boquillas cónicas (ATR Amarillo y ATR Marrón) separadas 0,3 m y 0,5 m entre ellas. Se ha evaluado el perfil de distribución mediante un banco de distribución vertical con la carretilla situada a 0,3 m y 0,5 m de distancia. La determinación de la distribución y penetración se ha estudiado con un tramo de vegetación artificial de 2 m de largo x 1,8 metros de alto en el que se han colocado papeles hidrosensibles en el interior y en los dos lados exteriores a tres alturas distintas.

Los resultados de la distribución vertical muestran que se obtiene una mayor uniformidad con las boquillas de abanico (XR110015) situadas a una distancia de 0,3 m del banco y separadas 0,3 m entre ellas (87.03%). En cambio, las boquillas cónicas presentan la uniformidad más baja (~70%). El análisis de los papeles hidrosensibles muestra que las boquillas cónicas presentan un mayor recubrimiento, sin haber diferencias significativas con los otros tratamientos. Es necesario realizar estudios adicionales y complementarios para evaluar si el uso de asistencia de aire en este tipo de tratamientos es necesario para evaluar la posible mejora de la distribución.

### Introducción

La producción de hortalizas en invernadero es una actividad económica muy importante en España. En concreto, en términos de uso de productos fitosanitarios (Gil, 2006) y en riesgo de contaminación tanto para el operador como para el medio ambiente (Bjugstad y Torgrimsen, 1996; Sánchez-Hermosilla et al., 2011; Balsari et al., 2012). En este sentido, se está impulsando el uso de carretillas con barras de pulverización verticales arrastradas manualmente con la intención de optimizar la distribución de los productos y minimizar los riesgos para los usuarios y el entorno. Diferentes estudios (p. ej., Sánchez-Hermosilla 2011 y 2012) han demostrado que se obtienen muy buenos resultados con el uso de este tipo de equipos frente a los obtenidos con la pistola tradicional.

Estos desarrollos están de acuerdo con la Directiva de uso sostenible (128/2009 EC) que promueve una reducción del uso de fitosanitarios. En este contexto se plantea este estudio que tiene por objetivo establecer algunas recomendaciones básicas para mejorar la eficiencia de las aplicaciones de fitosanitarios en cultivos verticales de invernadero.

### Materiales y métodos

Para este estudio se ha utilizado una carretilla de pulverización arrastrada manualmente con barras verticales (Carretillas Amate, Viator, España) con boquillas de abanico y boquillas cónicas separadas 0,3 m y 0,5 m entre ellas (Tabla 1). La presión de trabajo se ha ajustado a las características de las boquillas según la información de los fabricantes. Esto implica presiones de entre 2 y 5 bar en boquillas de abanico, y presiones entre 5 y 15 bar en boquillas de turbulencia. La carretilla de pulverización arrastrada se alimenta por un tubo de 25 mm de diámetro conectado a una bomba. Para mantener una pulverización de unos 2 m de altura, se han probado dos configuraciones distintas usando 6 boquillas para una separación de 0,3 m y 4 boquillas para una separación de 0,5 m. El volumen de aplicación (Tabla 1) se ha elegido de acuerdo con la bibliografía (Nuyttens 2004; Hermosilla 2010).

Se ha determinado el perfil de distribución mediante un banco de distribución vertical (AMMS, Maldegem, Bélgica) (Figura 1). Este banco permite recoger el líquido pulverizado hasta una altura máxima de 3,5 m cada 0,1 m.



Distribución del líquido con boquillas cónicas ATR.

La carretilla se ha puesto a 0,3 m y 0,5 m de distancia del banco para evaluar el efecto de la distancia al objetivo. A partir de los volúmenes recogidos en las distintas alturas se ha calculado el coeficiente de uniformidad mediante la Ecuación (1), siendo CV (%) el coeficiente de variación de las medidas para cada aplicación.

**Coeficiente Uniformidad (%) = 100 – CV (%) Ecuación (1)**

Para evaluar cómo se distribuye el líquido y la capacidad de penetrar en el interior del cultivo se ha utilizado un tramo de vegetación artificial de 2 m de largo y 1,8 metros de alto de media, y con una anchura media de 0,4 m. En ella se han colocado papeles hidrosensibles situados a tres alturas distintas, tanto en el interior de la vegetación como en las dos caras exteriores. Para evaluar el recubrimiento, los papeles se han analizado con el software Image J. Se entiende el recubrimiento como la proporción de papel hidrosensible que ha sido mojado (color azul) respecto a la parte seca (color amarillo). La valoración de la penetración en la vegetación se ha realizado mediante un índice de penetración. Este índice pretende valorar qué porcentaje de toda la cantidad aplicada en la vegetación es recogido en el interior. En una aplicación ideal, del 100% aplicado, se pretenderá recoger un 33% en la cara exterior derecha de la vegetación, un 33% en la cara exterior izquierda y un 33% en el interior.



Figura 1: Determinación de la distribución vertical (izquierda) y evaluación de la deposición de la pulverización en vegetación artificial (derecha).

Los valores de distribución en el banco vertical y en los papeles hidrosensibles las diferentes configuraciones se han comparado mediante un Análisis de la Variancia (ANOVA) seguida de una separación de medias con el test Student Newman Keuls utilizando el programa estadístico R (R Development Core Team, 2011).

### Resultados

En la Figura 2 se muestran los resultados de la uniformidad de la pulverización en la distribución vertical. Se puede observar que a una distancia de 0,3 m del banco

| Test | Código    | Distancia banco vertical (m) | Boquilla     | Separación boquillas (m) | Presión (bar) | Velocidad de avance (km.h <sup>-1</sup> ) * | Dosis de aplicación real (L.ha <sup>-1</sup> )** |
|------|-----------|------------------------------|--------------|--------------------------|---------------|---|--|
| 1    | ATRY0305  | 0.3                          | ATR-Amarilla | 0.5                      | 8             | 3.79  | 728  |
| 2    | XR020305  | 0.3                          | XR11002      | 0.5                      | 5             | 3.76  | 719  |
| 3    | ARTY0505  | 0.5                          | ATR-Amarilla | 0.5                      | 8             | 3.45  | 801  |
| 4    | XR020505  | 0.5                          | XR11002      | 0.5                      | 5             | 3.53  | 766  |
| 5    | ATRB0303  | 0.3                          | ATR-Marrón   | 0.3                      | 8             | 3.55  | 748  |
| 6    | XR0150303 | 0.3                          | XR-110015    | 0.3                      | 3.3           | 3.44  | 773  |
| 7    | ATRB0503  | 0.5                          | ATR-Marrón   | 0.3                      | 8             | 3.40  | 781  |
| 8    | XR0150503 | 0.5                          | XR-110015    | 0.3                      | 3.3           | 3.49  | 761  |

\* Velocidad de avance medida durante las aplicaciones en la vegetación artificial.  
\*\* Ancho de fila de 1.6 m.

Tabla 1: Condiciones de ensayo para el banco vertical y las pruebas con vegetación artificial.

la mayor uniformidad se observa con las boquillas de abanico (XR110015) separadas 0,3 m entre ellas (87,03%). Cuando la distancia entre boquillas aumenta hasta 0,5 m, la uniformidad disminuye (78,85%). En cambio, las boquillas que presentan una menor uniformidad son las de turbulencia. En este caso, no existen diferencias significativas entre las boquillas cónicas separadas 0,3 y 0,5 m entre ellas, presentando un coeficiente de 69,21% y 72,59% respectivamente. Estos resultados están en concordancia con los estudios realizados por Hermosilla (2011) y Nuyttens (2004), en los que las boquillas abanico presentan una mayor uniformidad de la distribución en el cultivo.

Al aumentar la distancia al banco de distribución vertical hasta 0,5 m, las boquillas que presentan mayor uniformidad son las de abanico con una separación de 0,3 y 0,5 m con un coeficiente de homogeneidad de 83% y

83,45% respectivamente. Entre ambas, no existen diferencias significativas, con lo que se puede decir que en este caso concreto no hay diferencias debidas a la separación entre boquillas. En relación a las boquillas cónicas, son las que presentan un menor coeficiente de homogeneidad no habiendo influencia de la separación entre boquillas, obteniendo un coeficiente de homogeneidad del 72,21% para una separación de 0,5 m y del 69,87% para una separación de 0,3%.

En el análisis de los papeles hidrosensibles situados en la vegetación artificial, a tres alturas distintas y a tres profundidades diferentes, se puede observar que el recubrimiento es entre el 44% y el 55%. Un recubrimiento del 100% implica que el papel está completamente mojado y de color azul. El mayor recubrimiento medio se consigue con la boquilla cónica (55,02%) separada 0,5 m entre boquillas y 0,5 m separada de la vegetación. Aun así, no

hay diferencias entre el recubrimiento obtenido en todos los tratamientos, y consecuentemente no hay efecto del tipo de boquilla, distancia entre boquillas ni separación a la vegetación. Estos resultados difieren de los estudios realizados por Nuyttens (2004), en los que se observó que existía una mayor deposición cuando la separación a la vegetación era de 30 cm.

En cuanto a la penetración del líquido en el interior de la masa vegetal, en todos los casos fue muy baja (12%). Estos resultados indican que es necesario el desarrollo de otras tecnologías que mejoren la penetración sin aumentar los riesgos de contaminación ni de la exposición al operador.

### Conclusiones

A la luz de estos resultados, se puede concluir que las boquillas de abanico, presentan una mayor uniformidad (87,03%) con una separación de 0,3 m que con una se-

paración de 0,5 m, siendo las boquillas cónicas las menos uniformes en todos los casos. Cabe destacar la importancia de la presión de trabajo, que en ningún caso supera los 5 bar de presión en boquillas de abanico. También se puede decir que, teniendo en cuenta la baja penetración de la pulverización en todas las configuraciones estudiadas, futuros estudios se enfocaran en la inclusión de asistencia de aire para valorar si es posible obtener resultados de penetración aceptables. ■

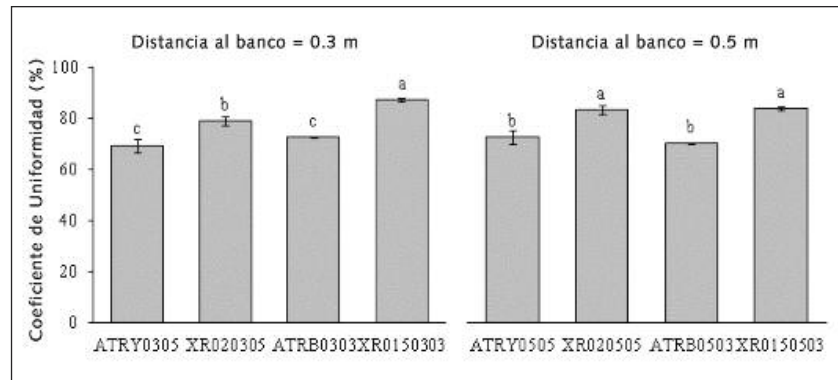


Figura 2: Coeficiente de uniformidad según la distancia al banco vertical por tipo de boquilla y separación entre las mismas. Mismas letras implica que no existen diferencias significativas ( $P < 0.05$ ).

### Agradecimientos

Este proyecto ha sido financiado por la Cátedra UPC-Syngenta Agro SAU.

### Referencias bibliográficas

- Balsari, P., Oggero, G., Bozzer, C., and Marucco, P. (2012). An autonomous self-propelled sprayer for safer pesticide application in glasshouse. *Aspects of Applied Biology* 114, 197-204.
- Bjugstad, N., Torgrimsen, T. (1996). Operator safety and plant deposit when using pesticide in greenhouse. *Agricultural Engineering Research* 65, 205-212.
- Parlamento Europeo (2009). Directiva 2009/128/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 21 de octubre de 2009, por la que se establece el marco de la actuación comunitaria para conseguir un uso sostenible de los plaguicidas.
- Foqué, D., Braekman, P., Pieters, J.G., Nuyttens, D. (2012). A vertical spray boom application technique for conical bay laurel (*Laurus nobilis*) plants. *Crop Protection* 41, 113-121.
- Gil, E. (2003) *Tratamientos en viña. Equipos y técnicas de aplicación*. ISBN: 9788483016916. Edicions UPC, Barcelona.
- Gil, E. (2006). Inspections of sprayers in use: a European sustainable strategy to reduce pesticide use in fruit crops. *Applied Engineering in Agriculture* 23, 49-56.
- R Development Core Team (2011). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>.
- Sánchez-Hermosilla, J., Páez, F., Rincón, V.J., Agüera, F., 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 greenhouse tomato crops. *Pest Management Science* 67, 942-947.
- Sánchez-Hermosilla, J., Rincón, V.J., Páez, F., Fernández, M. (2012). Comparative spray deposits by manually pulled trolley sprayer and a spray gun in greenhouse tomato crops. *Crop Protection* 31, 119-124.
- Nuyttens, D., Windey, S., Sonck, B. (2004). Optimisation of a vertical spray boom for greenhouse spray applications. *Biosystems Engineering*. 89, 417-423.