UNIVERSIDAD DE ALMERÍA

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA

INGENIERO AGRÓNOMO

COMPARACIÓN DE DIFERENTES EQUIPOS DE PULVERIZACIÓN EN CULTIVO DE TOMATE BAJO PLÁSTICO

MODALIDAD

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

ALUMNO

D. NICOLÁS DEL CASTILLO LUPIAÑEZ

Almería, enero de 2012

DIRECTOR

Dr. JULIÁN SÁNCHEZ-HERMOSILLA LÓPEZ

Resumen

En el sureste español se produce una importante concentración de invernaderos destinada a la producción de hortalizas. Solamente en la provincia de Almería la superficie de invernaderos es aproximadamente 28000 ha. El cultivo en invernadero es un sistema caracterizado por una alta densidad de plantación en la que se dan ambientes de elevada humedad relativa y temperatura, y escasa renovación de aire, debido al confinamiento del cultivo. Estas condiciones en algunos casos aumentan el riesgo de problemas por enfermedades y plagas.

Los sistemas mas empleados para el control de plagas y enfermedades son las pistolas manuales. Se tratan de equipos de bajo coste, fácil mantenimiento y adecuados para controlar problemas fitosanitarios en lugares muy localizados, pero que para el control de todo el cultivo dependen en gran medida de la pericia del aplicador.

En los últimos años han aparecido en el mercado como alternativa a las pistolas pulverizadoras barras verticales pulverizadoras que se desplazan entre las líneas del cultivo (arrastradas por un operario o suspendidas en un vehículo autopropulsado), que hasta el momento ofrecen buenos resultados. Por otra parte, en un intento de optimizar las instalaciones de nebulización, se están poniendo en práctica nuevos sistemas que permiten además hacer tratamientos fitosanitarios aunque su eficacia está por de mostrar.

En el presente trabajo se ha evaluado la distribución de producto fitosanitario, sobre un cultivo de tomate en diferentes estados fenológicos, originada con diferentes técnicas de aplicación empleadas en invernaderos: pistola pulverizadora, sistema de barras pulverizadoras verticales y sistema fijo de nebulización.

Los ensayos se han realizado en un invernadero de 900 m^2, dividido en tres módulos de aproximadamente 300 m^2. La caracterización de las aplicaciones se ha realizado a partir de la deposición de un trazador (Tartracina) sobre colectores artificiales situados en diferentes puntos de las plantas.

Se ha cuantificado parámetros como la tasa de recuperación, la deposición media, el Coeficiente de Variación de la distribución del trazador y las perdidas del suelo obtenidos con diferentes equipos.

Los resultados muestran que las barras verticales son una alternativa a la pistola pulverizadora debido a que obtienen mejores resultados de deposición, uniformidad, volumen recuperado. Sin embargo, el sistema de nebulización obtiene resultados muy pobres en comparación en todos los parámetros evaluados en comparación con el resto de los equipos. Además, presenta importantes pérdidas en el suelo y requiere un elevado gasto de agua en cada aplicación.

ANEXO 1.

ENTREGA DE COPIA DIGITAL DEL TRABAJO FIN DE MÁSTER / TRABAJO FIN DE GRADO / PROYECTO FIN DE CARRERA

1.	**Datos del alumno/a y del trabajo**
Apellidos, Nombre: *del Castillo Lupiañez, Nicolás*	
DNI: *54098127-B*	
E-Mail: *ndelcastillo@ingenieroagricola.org*	Tfno.: *649 376 749*
Grado/Máster/Titulación (Indicar especialidad, en su caso) Ingeniero Agrónomo	
Título del Trabajo: *Comparación de diferentes equipos de pulverización en cultivo de tomate bajo plástico*	
Fecha de entrega: *24/01/2012*	
Director/Tutor (es): *Julián Sánchez-Hermosilla López*	

2.	**El alumno/a firmante ha realizado la entrega de una copia digital de su trabajo para su depósito en la Biblioteca Universitaria, AUTORIZANDO a:**	
Su difusión en acceso libre (Marcar con una X lo que corresponda)	**SI X**	**NO ☐**

*Fdo.: Nicolás del Castillo Lupiañez

*Este formulario, debidamente cumplimentado y firmado (con firma digital o en su defecto, con firma manuscrita y escaneo del documento), deberá ser entregado por el alumno en formato pdf en el mismo soporte digital, junto con el resto de archivos integrantes del trabajo.

Ctra.Sacramento La Cañada de San Urbano 04120 Almería (España) Telf.: 950 015 000 FAX:

AGRADECIMIENTOS:

A mi padre y a mi madre, Nicolás y María, por apoyarme en los momentos duros en los que me ha tocado elaborar este trabajo.

A Mª Carmen por darme apoyo también, ayudarme siempre que lo he necesitado y aguantarme cuando las cosas se me complicaban.

A Víctor, por lo que me han enseñado, por su ayuda y por los buenos ratos que hemos pasado trabajando en el departamento.

A Paco, por ofrecer su ayuda en muchas ocasiones.

A Julián, por lo que me ha enseñado, por su ayuda y por darme las directrices para llevar este trabajo a buen término.

Índice

1. Interés y objetivos 2

1.1. Interés del proyecto 2

1.2. Objetivos 4

2. Revisión bibliográfica 7

2.1. Introducción 7

2.2. Factores que influyen en los tratamientos fitosanitarios 9

2.2.1. Caracterización de la calidad de un tratamiento fitosanitario 10

2.3. Factores que determinan la calidad de un tratamiento fitosanitario 14

2.3.1. Boquillas 15

2.3.2. Equipo de tratamiento 17

2.4. Técnicas de aplicación: trabajos previos 20

3. Material y Métodos 32

3.1. Ubicación 32

3.2. Materiales y equipos empleados en campo 33

3.2.1. Invernadero. 33

3.2.2. Material vegetal 34

3.2.3. Equipos de aplicación 36

3.3. Diseño experimental 42

3.3.1. Muestreo 42

3.3.2. Condiciones de los ensayos 48

3.4. Equipos y metodología empelados en laboratorio 52

3.4.2. Cuantificación del colorante 52

3.4.3. Tratamiento de muestras 55

3.4.4. Tratamiento de datos 56

4. Resultados y Discusión 59

4.1. Condiciones reales de aplicación 59

4.1.1. Volúmenes aplicados 59

4.1.2. Concentración aplicada 60

4.2. Recta de calibrado 61

4.3. Deposición en la masa vegetal y pérdidas en el suelo 61

4.3.1. Deposición en la masa vegetal 61

4.3.2. Pérdidas en el suelo 63

4.3.3. Volumen recuperado.....64
4.4. Deposición por alturas.....65
4.5. Deposición en el haz y el envés.....69
4.6. Deposición en el interior y exterior de la masa vegetal.....72
4.7. Pérdidas en los pasillos.....75
5. Conclusiones.....81
6. Bibliografía.....84

Índice de tablas

Tabla 1: Clasificación de la población de gotas.....16

Tabla 2: Tamaño de gota y % de superficie cubierta en función del producto 17

Tabla 3: Nomenclatura empleada en la rotulación de las bolsas empleadas para recoger los colectores situados en plantas.....46

Tabla 4: Nomenclatura empleada en la rotulación de las bolsas empleadas para recoger los colectores situados en los pasillos para los tratamientos de nebulización. 47

Tabla 5: Condiciones teóricas de aplicación en los ensayos efectuados.....48

Tabla 6: Tabla resumen de las condiciones reales de aplicación en los ensayos de campo. 59

Tabla 7: Concentraciones y tasas de aplicación medidas en los ensayos de campo. Factores de normalización.....60

Tabla 8: Datos para la elaboración de la recta de calibrado.....61

Tabla 9: Medias y coeficientes de variación (C.V.) de la deposición en la masa vegetal por unidad de superficie de colector y pérdidas en el suelo. 63

Tabla 10: Coeficiente de variación (%) en las alturas obtenidos en las aplicaciones realizadas en el ensayo 1.....68

Tabla 11: Valores medios y coeficientes de variación (C.V.) en la deposición en el haz y envés de las hojas en las aplicaciones del ensayo 1. 69

Tabla 12: Valores medios y coeficientes de variación (C.V.) en la deposición en el haz y envés de las hojas en las aplicaciones del ensayo 2. 70

Tabla 13: Valores medios de deposición en dos profundidades (interior y exterior) y coeficiente de variación (C.V.) en la masa vegetal en las aplicaciones realizadas en el ensayo 1.....72

Tabla 14: Valores medios de deposición en dos profundidades (interior y exterior) y coeficiente de variación (C.V.) en la masa vegetal en las aplicaciones realizadas en el ensayo 2.....72

Tabla 15: Deposición media en altura obtenida en los pasillos situados entre las líneas de cultivo a las alturas de muestreo. 75

Índice de figuras

Figura 1: Evolución de la superficie invernada en la comarca del campo de Dalías....7

Figura 2: Tratamiento fitosanitario optimizado.....10

Figura 3: Diferentes tipos de boquillas. a) De turbulencia o cono hueco; b) De chorro plano; c) De turbulencia o cono lleno; d) De chorro plano con doble salida; e) Deflectora; f) de inducción de aire. 16

Figura 4: Diferentes tipos de boquillas de nebulización. a) Boquilla agua-aire; b) boquilla de baja presión; c) boquilla de alta presión. 19

Figura 5: Plano de situación.....32

Figura 6: Vista aérea del Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera (IFAPA). Detalle de invernaderos de ensayos. 33

Figura 7: Vista exterior del invernadero multitunel en el que se realizaron los ensayos. 34

Figura 8: Material vegetal empleado en los ensayos. a) plantas de tomate antes del transplante. b) plantas de tomate dispuestas en el cultivo. 35

Figura 9: Sistema de cultivo. a) sacos de lana perlita con goteros autocompensantes sobrelínea. b) plantas de tomate sobre lana de roca transplantadas en perlita.....35

Figura 10: a) pistola de pulverización (lanceta). b) Boquillas. c) Carretilla. 36

Figura 11: Esquema de funcionamiento de la carretilla pulverizadora.....37

Figura 12: a) Vehículo autopropulsado equipado con barras verticales de pulverización. b) Detalle de las barras verticales de pulverización en la parte posterior del vehículo. c) Detalle del pedal de aceleración del vehículo. 39

Figura 13: Esquema de disposición den ángulo de las boquillas de chorro plano. a) visión lateral de la pulverización de la barra vertical, b) Proyección de la pulverización con las boquillas sin girar, c) Proyección de la pulverización girando las boquillas entre 5-10º. 39

Figura 14: Cabezal del equipo de nebulización: a) Detalle de bombas y filtros. b) Detalle de los tanques de almacenamiento de caldo y agua de lavado. c) Detalle del compresor de aire. 40

Figura 15: Detalle de las boquillas de nebulización y su colocación en el sistema de tuberías. 41

Figura 16: Esquema de la ubicación y orientación de las boquillas de nebulización empleadas en los ensayos. 41

Figura 17: Ubicación de los puntos de muestreo en cada una de las plantas, en cuatro alturas y cuatro profundidades diferentes. 44

Figura 18: Proceso de colocación de los colectores artificiales en las plantas. a) Detalle de la colocación de un colector en la parte inferior de la planta. b) Detalle de la colocación del colector en la hoja. c) Detalle del resultado final después de haber puesto los colectores en la planta. 45

Figura 19: a) Esquema de la ubicación de los puntos seleccionados para muestrear en los pasillos del invernadero. b) resultado final de la colocación de los colectores artificiales en los pasillos. 45

Figura 20: Colocación de los colectores artificiales en un plano horizontal. a) vista inferior en la que se aprecia el giro de parte del clip. b) Vista superior en la que se aprecia la horizontalidad del colector. 46

Figura 21: Bolsas con autocierre empleadas para almacenar y lavar las muestras recolectadas en campo. a) detalle de la codificación empleada para las muestras colocadas en plantas. b) detalle de la codificación empleada para las muestras colocadas en los pasillos de nebulización. 47

Figura 22: Aplicaciones. a) Aplicación con pistola hidráulica durante el ensayo 1. b) Aplicación con vehículo autopropulsado con barras verticales durante el ensayo 2. 50

Figura 23: a) Detalle de la inclinación de las boquillas en la barra vertical. b) detalle de un colector tras realizar una aplicación con barras verticales. 50

Figura 24: a) Tratamiento de nebulización con las ventanas cenitales y laterales cerradas durante el ensayo 1. b) Detalle de la alta humedad relativa durante el tratamiento de nebulización. 52

Figura 25: Recogida de muestras de la concentración real aplicada. a) Tratamiento de nebulización. b) Tratamiento con barras verticales. 52

Figura 26: Soluciones empleadas para la confección de la recta de calibrado. a) Solución madre. b) Repeticiones. 54

Figura 27: Preparación de las cubetas con las soluciones obtenidas por el lavado de las muestras obtenidas en cambo. a) Muestras obtenidas de plantas. b) Muestras obtenidas de pasillos de nebulización. 55

Figura 28: Representación gráfica de la recta de calibrado empleada para cuantificar la deposición en los ensayos. 61

Figura 29: Deposición media obtenida en la masa vegetal y pérdidas en el suelo en las aplicaciones realizadas. 64

Figura 30: Volumen recuperado en los colectores situados en el haz y el envés de las hojas expresado en tanto por ciento respecto al total aplicado. 65

Figura 31: Deposición media en tres alturas sobre la planta, expresadas como la suma de la deposición en el haz y el envés en cada altura. 66

Figura 32: Deposición media en tres alturas sobre la planta, expresadas como la suma de la deposición en el haz y el envés en cada altura. 67

Figura 33: Deposición media obtenida en el haz y el envés de las hojas en las aplicaciones realizadas en los dos ensayos. 71

Figura 34: Deposición profundidades obtenida en las dos aplicaciones realizadas. ...74

Figura 35: Curvas de isodeposición dentro del invernadero para el ensayo 1. 76

Figura 36: Curvas de isodeposición dentro del invernadero para el ensayo 1. 77

1. Interés y objetivos

1. Interés y objetivos

1.1. Interés del proyecto

En España, la superficie cubierta por invernaderos para producir hortalizas es aproximadamente de 64.600 ha (MARM, 2010), que representa aproximadamente el 17% del total de la superficie dedicada a la producción de hortalizas en el país. Estos invernaderos están localizados principalmente en el sureste de España, donde la producción de hortalizas en 2008 representaba aproximadamente el 20% del total de la producción española. Esto junto con la contribución de los invernaderos al total de la producción agrícola en España, que alcanza sobre el 15% (MARM, 2010), da una idea de la alta rentabilidad de este sistema productivo así como su importancia dentro del panorama agrícola Español.

La provincia de Almería ha experimentado un fuerte avance económico en los últimos 30 años debido fundamentalmente al empleo de nuevas tecnologías y a la adicción de inputs al sistema productivo.

El sistema productivo en el interior de los invernaderos de Almería se caracteriza por alta densidad de plantación. Esto unido a las condiciones ambientales propias de los invernaderos, con humedades y temperaturas elevadas, originan una alta incidencia de plagas y enfermedades.

Actualmente el control de plagas y enfermedades en cultivo de tomate se realiza fundamentalmente mediante la aplicación de productos químicos, los sistemas de control menos agresivos (como la lucha biológica) no están aun completamente implantados en este tipo de cultivo, tan sólo el 26% de la superficie cultivada con tomate bajo plástico utiliza lucha biológica (Agrocolor, 2010).

En cuanto a las técnicas de aplicación de productos fitosanitarios, es importante tener en cuenta el escaso desarrollo de los sistemas específicos para trabajar en invernaderos. La mayor parte de los equipos de pulverización proceden de adaptaciones de sistemas ideados inicialmente para trabajar en otro tipo de cultivos, fundamentalmente al aire libre (Sánchez-Hermosilla et al., 2003), o para invernaderos de características muy diferentes a los empeledos en la zona. Por lo tanto la eficacia de esta maquinaria o es óptima.

La técnica convencional de aplicación en los invernaderos de Almería consiste en la pulverización de productos fitosanitarios mediante pistolas hidráulicas actuando a elevadas presiones (1500-4000 kPa) hasta el punto de llegar al goteo, que se acoplan tanto a sistemas fijos (red a presión distribuida por el invernadero con puntos de acoplamiento estratégicamente situados), como a carretillas manuales que se

sitúan en el pasillo central del invernadero y sobre las que se desplaza el depósito y la motobomba (Agüera et al., 1998). Se tratan de equipos de bajo coste, fácil mantenimiento y adecuados para controlar problemas fitosanitarios puntuales y localizados. Esta técnica se caracteriza por su baja eficacia, dado que las pérdidas de producto en el suelo son muy importantes debido a la falta de uniformidad de distribución (Garzón et al., 2000; Sánchez-Hermosilla et al., 2001). Por estas razones es necesario realizar tratamientos optimizados desde un punto de vista técnico y agronómico (Furness et al., 1998, Balsari et al., 2002).

El control fitosanitario en estas producciones depende fundamentalmente de la pericia del operario. Las pistolas hidráulicas originan aplicaciones caracterizadas por la falta de uniformidad en la masa vegetal, elevadas pérdidas en el suelo (Sánchez-Hermosilla et al. 2003) y alto riesgo a la exposición de los aplicadores (Nuyttens et al., 2004a y 2009b).

Como alternativa a las pistolas pulverizadoras han aparecido en los últimos años en el mercado equipos dotados de barras pulverizadoras verticales que se desplazan entre las líneas de cultivo y permiten un mejor control de las variables como la presión y la velocidad de trabajo. Este sistema representa un importante avance respecto a las pistolas tradicionales, ya que permiten obtener índices de cobertura similares en las hojas con volúmenes de aplicación sensiblemente menores (50%) y a presiones inferiores (1000 kPa) (Sánchez-Hermosilla et al., 2003).

La utilización de los vehículos autopropulsados equipados con barras verticales es muy reducida, debido fundamentalmente a su elevado coste. Como alternativa, también existen en el mercado carretillas manuales equipadas con barras verticales, que utilizan la misma instalación de pulverización que las pistolas manuales, y que tiene un coste reducido (Sánchez-Hermosilla et al., 2011a).

La utilización de las barras pulverizadoras verticales para los tratamientos fitosanitarios en los invernaderos supone importantes mejoras respecto al empleo de pistolas pulverizadoras: aplicaciones más eficaces, menor contaminación en el suelo (Sánchez-Hermosilla et al., 2003), mayor homogeneidad de la distribución de fitosanitario en la masa vegetal (Langenakesn et al., 2002, Sánchez-Hermosilla et al., 2003, Nuyttens et al., 2004b) y menor riesgo de exposición para los aplicadores (Nuyttens et al., 2004a y 2009b)

Pero aún queda mucho por saber respecto a la configuración de estos sistemas. En este sentido, un aspecto importante que supondría una mejora en la aplicación de fitosanitarios, sería conocer que efectos sobre la deposición en el cultivo tienen las diferentes variables operacionales que definen una aplicación (tipo de boquillas, presión de trabajo, colocación de las boquillas,…).

Por otro lado, en los últimos años la prolongación de los ciclos productivos en el sureste español se está alargando. Esto implica que se está cultivando durante el verano, cuando la radiación diurna causa incrementos de temperatura perjudiciales para los cultivos que se desarrollan dentro de invernadero (Day y Bailey, 1999). En muchas áreas de producción hortícola, las estructuras de invernadero necesitan ser refrigeradas para disminuir la temperatura del interior a lo largo de la estación de cultivo (Bakker et al., 2008). Lo cual hace necesario el empleo de sistemas de refrigeración en los invernaderos en las épocas donde la alta radiación incidente y las altas temperaturas originan condiciones subóptimas para el desarrollo de los vegetales.

En la campaña 2005/2006 solamente el 4,3% de los invernaderos presentaban instalaciones de nebulización para su refrigeración, estas explotaciones representaban solamente el 5,9% de la superficie invernada en la provincia de Almería (Céspedes et al., 2009). Una de las razones para la poca aceptación de esta tecnología por parte de los productores que las especies hortícolas cultivadas en la zona mediterránea sólo precisan un sistema de nebulización en momentos puntuales del ciclo productivo, al principio de la campaña y después del transplante.

En este sentido, podría admitirse que el uso de los equipos de nebulización, en especial los de baja presión y sistemas aire-agua, no está optimizado y por tanto tampoco está rentabilizado, ya que éstos admiten el uso de fitosanitarios disueltos en el agua permitiendo de este modo las aplicaciones de tratamientos fitosanitarios añadiendo, así, una funcionalidad más al equipo y evitando que el operario esté en contacto con los productos en el momento de la aplicación. De este modo la inversión realizada para este tipo de instalaciones permite el uso frecuente de las mismas y no sólo en momentos puntuales de la campaña.

1.2. Objetivos

Teniendo en cuenta la importancia de la horticultura en invernadero dentro del sector agrícola, los problemas asociados al control fitosanitario y la necesidad de practicar una agricultura respetuosa con el medio ambiente y con la salud de las personas, es necesario realizar un uso racional de los productos fitosanitarios. Por lo que se plantean los siguientes objetivos.

- Evaluar la distribución de producto fitosanitario sobre un cultivo de tomate en dos estados fenológicos, originado con diferentes técnicas de aplicación empleadas en invernaderos:
- Dado que la aplicación de fitosanitarios mediante sistemas de nebulización fijos es relativamente novedosa, se pretende caracterizar

el comportamiento de esta tecnología a la hora de realizar pulverizaciones.

2. Revisión bibliográfica

2. Revisión bibliográfica

2.1. Introducción

La evolución de la superficie invernada en la provincia de Almería ha experimentado un crecimiento espectacular desde que en 1963 el Instituto Nacional de Colonización realiza una prueba piloto en la zona del Campo de Dalías. En el año 2009 la superficie de invernadero en Almería se estimó en 28.592 ha (MARM, 2010).

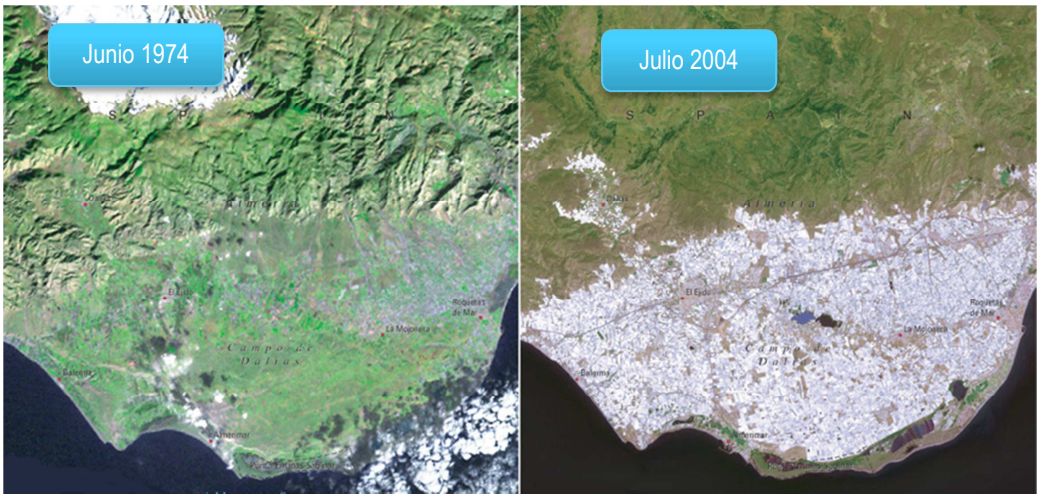

Figura 1: Evolución de la superficie invernada en la comarca del campo de Dalías (Fuente: UNEP).

Por esta razón la provincia de Almería ocupa el primer lugar en la producción de hortalizas y es una de las primeras provincias en la producción final agrícola. Todo este desarrollo no es sólo debido al empleo de invernaderos, sino también a la aplicación de nuevas tecnologías como enarenados, sistemas de riego localizado, empleo de semillas híbridas, etc. (López et al., 1994), la mayor parte de estas, importadas de países centro europeos o Israel.

Por otro lado, las labores en el interior de los invernaderos no han experimentado un gran avance en su mecanización. Algunas labores debido a su peligrosidad, como la aplicación de productos para la protección de cultivos, hacen necesario centrar esfuerzos en desarrollar maquinaria específica.

Aunque en los últimos años se están introduciendo, debido a la creciente preocupación por el empleo de productos fitosanitarios y los efectos adversos sobre el medio ambiente y la salud de las personas que estos tienen, nuevas técnicas de control de plagas y enfermedades en los cultivos menos agresivas, como como el control integrado de plagas y el empleo de sustancias de baja peligrosidad (Moreno

et al., 1993; Planas, 1994). Aunque aún se hace necesario el control mediante aplicación de productos para la protección de cultivos en determinadas ocasiones.

También desde el punto de vista administrativo diferentes instituciones y organizaciones competentes en la materia están desarrollando normativas encaminadas a reducir los riesgos derivados del empleo de productos químicos en la agricultura. En esta línea se encuentra la "Guidelines on the sustainable use of crop protection products" publicada en el año 2000 por la Asociación Europea para la Protección de Cultivos (ECPA) y la Comunicación de la Comisión Europea "Hacia una estrategia temática para el uso sostenible de los plaguicidas" (COM(2002)343) al Consejo, Parlamento Europeo y al Comité Económico y Social. En esta última se incide en el fomento de prácticas agrícolas que impliquen reducir o suprimir el uso de los plaguicidas.

En este contexto resulta imprescindible realizar tratamientos optimizados desde el punto de vista técnico y agronómico. Entendiendo por tratamiento optimizado aquel que proporciona deposiciones cercanas al umbral de control de la plaga o enfermedad, uniformemente distribuidas en la masa vegetal minimizando las pérdidas en el suelo y por deriva.

La pulverización consiste en la división en gotas de una masa líquida. El fluido que aporte la energía necesaria para producir la división condiciona la población de gotas que se genera y la clasificación de estos equipos. Existen dos grupos fundamentales de pulverización, la neumática y la hidráulica, encargándose de la generación de gotas una corriente de aire o un líquido a presión respectivamente. Dentro de la pulverización hidráulica existen dos grupos principales y mayoritarios en cuanto al uso. Estos se diferencian por la energía que emplean las gotas generadas para llegar al objetivo, usando unos la propia energía del líquido y otros ayudados por una corriente de aire.

Los problemas relacionados con las aplicaciones de productos fitosanitarios no son ajenos a los cultivos desarrollados en invernadero. Cabello (1996) pone de manifiesto la poca efectividad de los tratamientos debido a la utilización de productos y equipos de aplicación poco adecuados y a la poca formación de los aplicadores. También indica que las condiciones particulares de los invernaderos (recintos cerrados, aplicaciones frecuentes, alta temperatura y humedad relativa elevada, etc.) suponen un riesgo elevado de exposición para la salud de los trabajadores y el medio ambiente.

El déficit tecnológico lleva consigo que la mayoría de los tratamientos se realicen de forma manual, con equipos mal calibrados y sin garantía alguna sobre la calidad de la pulverización, traduciéndose en unas importantes pérdidas de productos fitosanitarios.

2.2. Factores que influyen en los tratamientos fitosanitarios

Se puede considerar un tratamiento fitosanitario óptimo cuando proporciona deposiciones de producto fitosanitario cercanas al umbral de control de la plaga o la enfermedad, de manera uniforme y minimizando las pérdidas de caldo en el suelo o por deriva.

Existen distintos factores que influyen en la eficacia de los tratamientos fitosanitarios, que se pueden clasificar en los siguientes grupos:

- Factores biológicos, tales como el desarrollo de la plaga, la eficacia e idoneidad de la materia activa y el tipo y disposición del cultivo.
- Factores ambientales, donde se pueden destacar la temperatura, humedad y, velocidad y dirección del viento.
- Factores técnicos, cantidad de materia activa utilizada y como se hace llegar a los órganos de la planta.

En la Figura 2 se muestra las relaciones existentes y los objetivos que se deben cumplir en cualquier aplicación fitosanitaria. La deposición es la dosis superficial que llega a la planta expresándose la misma en unidades de masa por unidad de superficie de la hoja a del órgano vegetal que se esté evaluando, normalmente $\mu g\ cm^{-2}$. Esta deposición determina la eficacia del tratamiento pues es la que indica si ha llegado la materia activa a los órganos de la planta en cantidad suficiente.

Las aplicaciones además de cumplir con el requisito mencionado anteriormente deben maximizar la uniformidad, entendiéndola como la deposición en cantidades similares en todas las partes de la planta. Este factor es de vital importancia ya que si por la técnica de aplicación se producen diferencias importantes en la dosis superficial habría que aumentar los volúmenes aplicados para que las zonas con menor grado de deposición consigan llegar a la dosis de umbral de control y por tanto sobredosificar las demás.

La reducción de las pérdidas del caldo fitosanitario es otro de los objetivos que han de cumplirse en una aplicación optimizada. Existen dos tipos fundamentales de pérdidas: la deriva y las pérdidas en el suelo. La deriva son pérdidas que se originan por la falta de control que se tiene de las gotas una vez que han salido de los emisores siendo la causa principal de esta la presencia de viento asociada a pulverizaciones con tamaño de gota muy fina. Las pérdidas en el suelo están condicionadas por la deficiente disposición de las boquillas, por la falta de retención del líquido por la masa vegetal o por técnicas de aplicación poco localizadas.

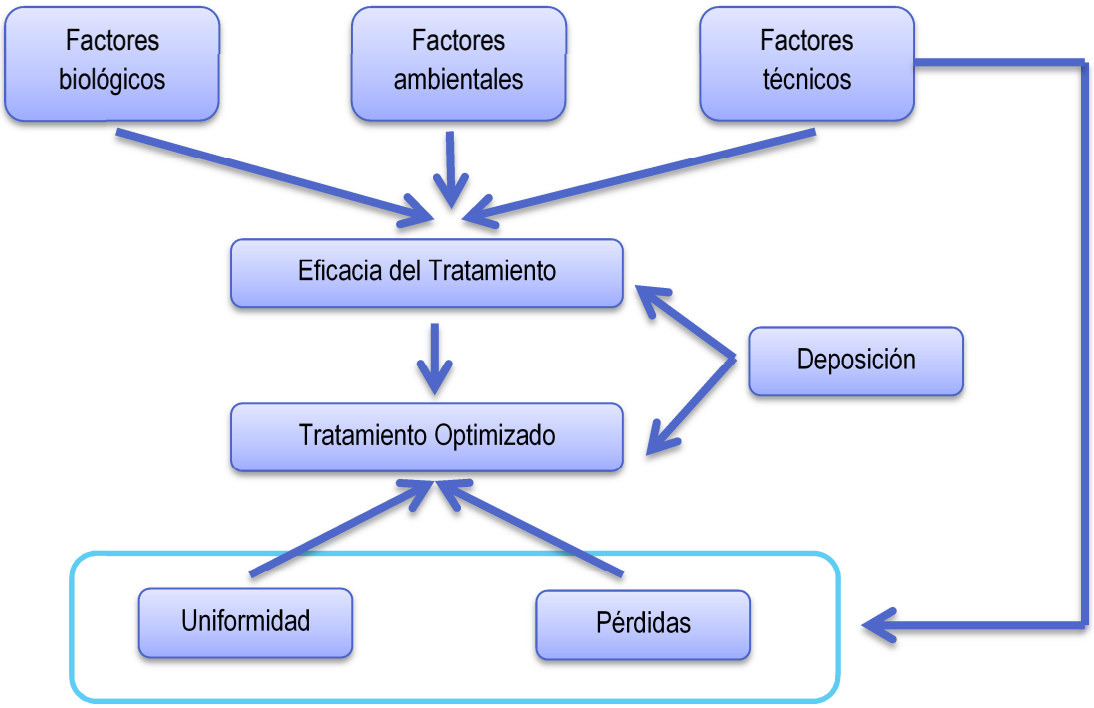

Figura 2: Tratamiento fitosanitario optimizado.

2.2.1. Caracterización de la calidad de un tratamiento fitosanitario

El empleo de productos fitosanitarios requiere mejoras en la seguridad y eficacia de los sistemas de aplicación, de tal manera que se reduzcan los riesgos para la salud de las personas y para el medio ambiente, originados por este tipo de productos. Por tanto es necesario disponer de herramientas que permitan evaluar la eficacia de los sistemas de aplicación.

Lo ideal sería caracterizar los sistemas de pulverización evaluando su eficacia biológica, pero este tipo de estudios es costoso y requiere mucho tiempo. Como alternativa, Cross et al. (1997), proponen evaluar la eficacia de los sistemas de pulverización a partir de la cuantificación de la deposición de caldo fitosanitario en la masa vegetal, que resulta menos costosa y más rápida. Según los autores el sistema más efectivo será aquel que deposite una mayor proporción de caldo fitosanitario en la masa vegetal y lo distribuya con mayor uniformidad.

2.2.1.1. Métodos cuantitativos

Para evaluar la deposición del caldo fitosanitario en la masa vegetal, normalmente se utilizan trazadores que sustituyen a la materia activa, ya que son más fáciles y seguros de manejar. Estos trazadores se pueden clasificar en tres grupos: compuestos fluorescentes, colorantes visibles y las sales metálicas.

Las primeras técnicas desarrolladas para evaluar la deposición se basaban en la utilización de marcadores fluorescentes que se pulverizaban sobre el cultivo. Para la medida de la cantidad de producto se distribuyen colectores artificiales en la masa foliar y en el suelo, que después son analizados mediante una fotocélula que mide la florescencia. Esta es la base del denominado "método fluorimétrico", utilizado inicialmente por Liljedahl y Strait (1959) y posteriormente por distintos investigadores. Pergher y Gubiani (1995), utilizaban la Brilliant Sulphaflavine para comprobar los efectos de volumen de aplicación y el caudal de aire en la deposición en viña. Planas et al. (1996) y, Cunningham y Harden (1999) ensayan diferentes volúmenes de aplicación en naranjo y utilizan para cuantificar la deposición un trazador fluorescente (Helios 500 SC). Farooq y Salyani (2002) emplean Piranine 10G para estudiar la penetración de dos pulverizadores hidroneumáticos en naranjo. Panneton y Piché (2005) emplean un trazador fluorescente, Tricoblanc BA, para analizar las interacciones entre el volumen de aplicación, el caudal de aire y la calidad de la aplicación en la pulverización hidroneumática.

El método fluorimétrico tiene como principales ventajas la facilidad de análisis y la posibilidad de detectar la sustancia fluorescente a bajas concentraciones, tanto en hojas como en colectores artificiales, lo que resulta muy interesante para detectar la deriva de un producto. Por el contrario, como principal inconveniente destaca la rápida degradación que experimenta el trazador al exponerse a la luz solar (Pergher, 2001; Zhu et al., 2004), por ello hay que actuar de forma rápida. Bode et al. (1976) recogían los colectores inmediatamente después de realizar los ensayos de pulverización. Pergher y Gubiani (1995) realizaban sus ensayos por la tarde cuando la radiación solar era inferior a 70 W m^{-2}.

Por otro lado, pueden aparecer interferencias provocadas por los pigmentos naturales de la planta y por la compatibilidad entre el fluorocromo y el producto fitosanitario, ya que se han detectado casos en que la florescencia se ve inhibida por determinados ingredientes activos (Porras, 2000).

También se han desarrollado métodos que emplean trazadores metálicos, que tienen la ventaja de no degradarse con la luz solar. Estos métodos se basan en determinar la cantidad de trazador que reciben colectores artificiales o las hojas del cultivo, mediante el empleo de métodos analíticos como la cromatografía de gases, electroforesis, espectrofotometría de absorción atómica, etc. Pezzi y Rondelli (200) y Cross et al. (2001) utilizan un espectrofotómetro de absorción atómica para medir el magnesio como trazador. También se utilizan otras sustancias como aluminio (Tu et al., 1986), cobre (Gil, 2001), magnesio y zinc (Cross et al., 2001a; Nuyttens et al., 2004b y 2009a; Braeckman et al., 2009 y 2010 y Foqué y Nuyttens 2011a y 2011b). La mayor parte de estos métodos tienen como inconveniente el requerir complejas instalaciones de laboratorio para el análisis de muestras, por lo que resultan costosos.

Murray et al. (2000) desarrollaron una metodología de ensayo basada en la aplicación secuencia de metales de transición utilizados como potenciales trazadores (Cu, Co, Mn y Zn) sobre la misma masa vegetal. Comprobaron que no se producía redistribución ni absorción, de estos elementos en el cultivo al pulverizar volúmenes de aplicación en orden creciente. Esta metodología tiene como ventaja fundamental la reducción de la variabilidad de los ensayos, producidas fundamentalmente por el cambio de las condiciones climáticas y estructura del cultivo.

De Moor et al. (2002) estableció una metodología para el uso de quelatos minerales como trazadores en papeles de filtro. Mediante el análisis ICP (Espectrofotometría de Masas con fuente de Plasma Acoplado) determinaron la concentración de mineral extraída con ácido nítrico 14N. Compararon el comportamiento de los minerales y los pesticidas en laboratorio con el objeto de relacionar los resultados teóricos y en campo.

La aplicación de trazadores metálicos ha sido utilizada por Cross et al. (2001a, 2001b, 2003), Solanelles et al. (2001), Nuyttens et al. (2004a, 2009a), Gil et al. (2007), Foqué y Nuyttents (2010 y 2011) y Braekman et al. (2009 y 2010). En el trabajo llevado a cabo por Solanelles et al. (2001) aplicaron sucesivamente quelatos comerciales de Fe, Zn, y Mn en olivos y midieron la deposición sobre la misma muestra, reduciendo de este modo la variabilidad debida a factores externos al tratamiento.

En general, los métodos más difundidos son los colorimétricos, debido a su facilidad de uso y análisis. Se trata de métodos basados en pulverizar sobre colectores artificiales estratégicamente distribuidos sobre la parcela o sobre las hojas de cultivo, un colorante que se pueda medir mediante un espectrofotómetro de luz visible. Whitney et al. (1989) y Hoffmann y Salyani (1986) utilizaron como trazadores cobre y manganeso, respectivamente, y deterinaron la deposición en las hojas de naranjo mediante colorimetría. Pergher et al. (1999) utilizaron como trazador la Tartracina para determinar la deposición en cultivo de espárrago. Posteriormente Pergher (2001) comparó las propiedades de algunos trazadores de este tipo. Fundamentalmente la fotodegradación y el porcentaje de recuperación, encontrando que la Tartracina era el colorante que menor degradación sufría y que tenía un porcentaje de recuperación cercano al 100%. Lo cual ha dado lugar a que la Tartracina sea uno de los colorantes más empleados en estudios de deposición (Cross et al., 1997; Pergher et al., 1997., 1999 y 2002; Balsari et al., 2005 y 2007). Por otro lado, también se utilizan otros colorantes como el Green S (E-141), Eritrosina (E-127) (Cross, 1997; Lee, 2000), Ponceau 4R y Patent Blue. Todos los presenta buenas tasas de extracción salvo la eritrosina que además es poco estable a la radiación solar Green S (Pergher, 2001). Estos métodos disminuyen el tiempo de trabajo y los equipos requeridos son menos cosotos.

Sánchez-Hermosilla et al. (2008) estudiaron el uso de varios colorantes alimentarios usados como trazadores para medir la deposición en tratamientos fitosanitarios por espectrofotometría de absorción ultravioleta-visible. Evaluaron el uso de tres colorantes alimentarios (Tartrazina, Indigo Carmine y Patent Blue V) para su utilización en aplicaciones secuenciales en estudios de deposición de productos fitosanitarios. Evaluaron los porcentajes de recuperación sobre tiras de papel de filtro y sobre hojas de toma te de los colorantes en diferentes tiempos. Obtuvieron porcentajes de recuperación próximos al 100%. Por otro lado estimaron coeficiente correctores que permiten que la variabilidad de los datos obtenidos de papel de filtro y hojas sea de 1,78% y 1,27% respectivamente.

2.2.1.2. Métodos cualitativos

El objetivo de los métodos cualitativos es caracterizar la población de gotas que se originan al realizar un tratamiento, mediante su tamaño, densidad (nº de gotas por cm^2) y la superficie cubierta.

Para medir la distribución de las gotas originadas por un sistema de aplicación se han desarrollado diferentes métodos, todos ellos dirigidos a caracterizar la población de gotas que se depositan sobre algún tipo de colector artificial que simule la superficie del cultivo. Uno de estos métodos es el uso de papel vegetal dispuesto sobre las hojas de cultivo (Watson y Wolf, 1985). El proceso requerido para que se pudieran analizar estas muestras era pulverizar, con una disolución de tinta china, ideando para ello una caja luminosa que permitiese medir la cantidad de luz que atravesaba el papel vegetal.

Porras et al. (1987) utilizaron el denominado "método de improntas", que se basaba en utilizar sustancias químicas que reaccionasen con la materia activa del producto distribuido, formando precipitaciones de color oscuro sobre las gotas. Para el análisis de las gotas se empleó una caja luminosa en la que se cuantificaba la luz transmitida a través de un papel en el que, previamente, se habían recogido las huellas de la gotas depositadas en las hojas. Se trata de un método rápido y económico que permite trabajar con la materia activa que se está distribuyendo y con las hojas tal y como se encuentran en el cultivo.

El papel hidrosensible se emplea con frecuencia en estudios para caracterizar el comportamiento de los equipos de pulverización de productos fitosanitarios (Cross et al., 2001a y 2011b; Pierce y Ayers, 2001; Sumner et al., 2000; Sánchez-Hermosilla et al., 2003; Foqué y Nuyttens, 2011a y 2011b). Se trata de un método colorimétrico basado en el empleo de tiras de papel con una superficie de color amarillo tratada con sustancias que viran a azul en presencia de una solución acuosa. Esta propiedad permite que los impactos debidos a las gotas originadas por el pulverizador dejen en la superficie del papel unas manchas de color azul.

El análisis de estas manchas permite determinar parámetros muy interesantes para caracterizar una pulverización, como son: el número de impactos por unidad de superficie y el porcentaje de superficie cubierta.

En general el método de papel hidrosensible se caracteriza por ser una técnica que no necesita dispositivos complejos ni costosos y que además es de fácil manejo. El inconveniente que presenta es que se puede contaminar accidentalmente la superficie del papel mediante rozamiento con superficies húmedas, huellas de los dedos y humedad ambiental elevada (Pierce y Ayers, 2001).

El estudio de las gotas sobre el papel hidrosensible se realiza empleando técnicas de análisis de imágenes. Estas requieren un equipo para digitalizar la superficie del papel, que puede ser una cámara de vídeo (Fox et al., 1992; Salyani y Fox, 1999), una cámara fotográfica (Panneton, 2002) o un escáner (Womac et al., 2001; Sánchez-Hermosilla et al., 2003), y un software para determinar las propiedades de cada uno de los píxeles que forman la imagen.

Sánchez-Hermosilla y Medina (2004) desarrollaron una metodología para analizar las muestras de papel hidrosensible. Se creó un umbral adaptativo para el análisis de un conjunto de gotas utilizando imágenes de 8 bit en escala de grises escaneadas a 2400 pdi. Esta metodología reduce la subjetividad del operador y automatiza el proceso de análisis de muestras de papel hidrosensible, empleando un software de análisis de imágenes.

Un método análogo al papel hidrosensible se usó para evaluar la cantidad de los tratamientos en invernaderos (Sánchez-Hermosilla et al., 2001; Garzón et al., 2000). Consiste en usar tiras de papel satinado, sobre las que se pulveriza con una disolución de azul de metileno a baja concentración. El uso de esta técnica se justifica por la elevada humedad que existe en los invernaderos, que según estos autores condiciona el uso de papel hidrosensible al saturarse antes de realizar el tratamiento.

2.3. Factores que determinan la calidad de un tratamiento fitosanitario

El motivo por el cual se realiza un tratamiento fitosanitario, es el control de una plaga o una enfermedad. Para el control de ésta sea adecuado, se necesita una distribución uniforme de la materia activa en los órganos de la planta en forma de gotas. En el caso de pulverización hidráulica la distribución uniforme de las gotas viene estrechamente relacionada con el equipo de tratamiento empleado y el tipo de boquilla, penetración y homogeneidad de la pulverización.

2.3.1. Boquillas

Las boquillas son los elementos encargados de la formación de gotas. El diseño de las mismas modifica sustancialmente las gotas producidas, tanto en su tamaño como en la forma del chorro que se proyecta (Márquez, 2002).

Los principales tipos de boquillas según Márquez (2002), son los que se describen a continuación (Figura 3):

- De turbulencia o cónicas (de cono hueco o de cono lleno):
  Estas boquillas dividen el líquido al convertir su propia energía potencial bajo presión en velocidad, por variaciones bruscas de sección y de dirección. Este movimiento, en forma de torbellino, lo provoca una cámara helicoidal con una hélice giratoria y un orificio calibrado en la placa de salida a la atmósfera. El propio movimiento helicoidal que toma el líquido en la boquilla se mantiene en el chorro de pulverización, dando lugar a un chorro cónico de gota, siendo finas y en más cantidad en el exterior, y muy pocas gotas y muy finas en el interior (cono hueco). En las de cono lleno, en la parte interior del chorro se mantiene una pulverización abundante.

  Este tipo de boquilla se caracteriza por tener un tamaño de gotas muy variable, con la mayoría de sus gotas finas o muy finas, por eso son recomendadas cuando se busca mucha penetración y un alto de superficie cubierta.

- De chorro plano, abanico o hendidura:
  Estas boquillas constan de una cavidad cilíndrica que termina en el extremo inferior en una salida elíptica o rectangular, hendidura. La pulverización se consigue por el choque de dos láminas convergentes en las proximidades de la hendidura. El chorro de pulverizaciones es un chorro cónico muy aplastado, con forma de pincel y un ángulo de salida entre 60º y 120º, con gotas más gruesas en los extremos del abanico. Algunos fabricantes ofrecen boquillas de doble salida. Lo que da lugar a dos chorros planos idénticos.

  Aunque presenten un tamaño medio de gotas, poseen una buena penetración y una alta uniformidad de distribución.

- Deflectoras, de choque o de espejo:
  En estas boquillas la pulverización se produce al chocar el chorro a presión con una superficie deflectora dispuesta en la parte inferior del propio cuerpo de la boquilla, que provoca el estallido del mismo y su pulverización según un chorro plano de gran ángulo de apertura.

Originan gotas gruesas y se aconseja para tratamientos sobre suelo desnudo con abonos líquidos, o para herbicidas de acción sistémica.

- **Boquillas Venturi o de inyección de aire**:
  El caldo, aun sin pulverizar, pasa por una pequeña cámara denominada inyector en la que se incorpora aire por efecto "Venturi" a través de un orificio; después pasa a una zona denominada "cámara de mezcla" donde se combinan el aire y el caldo, por la turbulencia que reproduce. La mezcla homogénea de aire y caldo llega finalmente a una boquilla convencional de chorro plano, cónico o deflectora, y sale al exterior. Estas boquillas tienen la ventaja de que disminuyen la deriva y tienen una buena penetración en la masa foliar (Vázquez, 2003).

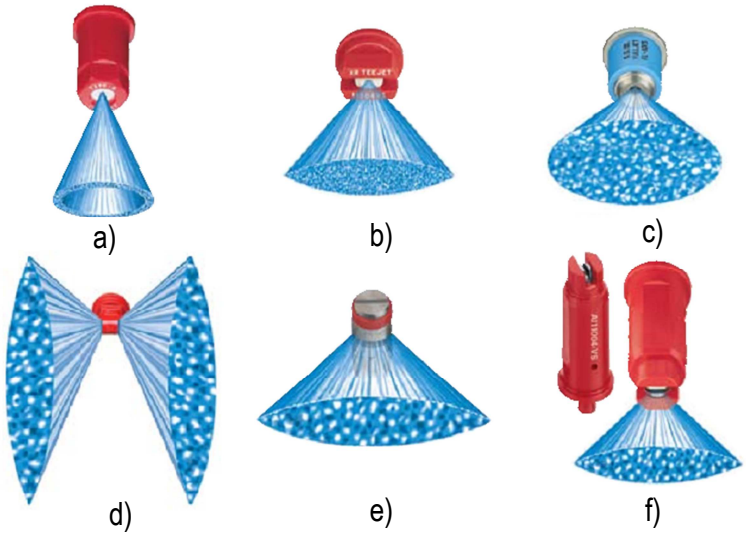

Figura 3: Diferentes tipos de boquillas. a) De turbulencia o cono hueco; b) De chorro plano; c) De turbulencia o cono lleno; d) De chorro plano con doble salida; e) Deflectora; f) de inducción de aire.

Las boquillas que habitualmente se emplean en invernaderos son las cónicas y las planas, fundamentalmente por el tamaño de la población de gotas que caracteriza a cada una. Las boquillas cónicas poseen una población de gotas finas o muy finas, frente a las boquillas plantas que son medias (Tabla 1).

Tabla 1: Clasificación de la población de gotas (Márquez, 2002).

	VMD: Diámetro del volumen medio (µm)
Muy gruesa	> De 450
Gruesa	Entre 300 y 450
Media	Entre 300 y 200
Fina	Entre 90 y 200
Muy fina	< de 90

Además, en función del tipo de tratamiento se debe obtener un porcentaje de superficie cubierta y un tamaño de gota adecuado. Para conseguir estos efectos se modifica el tipo de boquilla y la presión (Tabla 2).

Tabla 2: Tamaño de gota y % de superficie cubierta en función del producto (Márquez, 2002).

Tipo de producto	Cobertura (%)	Tamaño de gota VMD (µm)
Herbicidas	20-40	200-600
Insecticidas	20-30	200-350
Fungicidas	50-70	150-250

2.3.2. Equipo de tratamiento

2.3.2.1. Pulverizadores hidráulicos

Dentro de esta clasificación se encuentran las pistolas pulverizadoras, utilizadas tradicionalmente en los invernaderos del sureste mediterráneo. Estas pueden ir acopladas a dos tipos de instalaciones:

- **Instalaciones fijas**:
  Su uso está muy extendido en invernaderos de Almería, está formado por unas mangueras que se distribuyen por el interior del invernadero conectadas a unos depósitos donde se encuentra el caldo. Con la ayuda de una bomba se impulsa el producto por las mangueras hasta llegar al extremo de estas, donde se conecta la pistola. Este sistema reduce el trabajo y el tiempo perdido en llenar tanques de producto ya que estos tienen grandes capacidades (Aranda, 1994)

- **De tipo carretilla**:
  Este tipo de equipos consta de depósitos de 50 a 100 litros, provistos de motobombas y montados sobre estructuras de 2 ruedas tipo carretilla. Estas carretillas tienen una gran maniobrabilidad, adaptándose a las condiciones presentes en los invernaderos. Su precio es moderado y su capacidad de trabajo es superior a otros equipos manuales, como por ejemplo mochilas de espalda (García, 1996).

Estos pulverizadores poseen bombas de membrana, con presiones de trabajo de 1000 y 1200 kPa, aunque también se instalan bombas con de pistón alcanzando los 4000 kPa de presión. Los caudales oscilan entre los 3 $L\,min^{-1}$ de las bombas menores, hasta los 21 $L\,min^{-1}$ en los modelos mayores. El accionamiento de las bombas suele ser un eléctrico (García, 1996).

2.3.2.2. Sistemas de nebulización

Los sistemas de nebulización para el enfriamiento de invernaderos han sido desarrollados para proporcionar las condiciones de cultivo deseadas en cuanto a humedad relativa y temperatura. Estos sistemas se basan en la conversión del calor sensible en calor latente del agua evaporada mediante el aporte mecánico de agua (Arbel et al. 1999).

Los sistemas de nebulización se muestran efectivos controlando las altas temperaturas de los invernaderos (Meca et al. 2007), lo cual implica que es un método adecuado para mejorar las condiciones climáticas dentro de invernaderos mediterráneos (García et al. 2011). Las plantas cultivadas bajo sistemas de nebulización son más precoces y tienen un mayor rendimiento final (Meca et al. 2007).

Por otro lado, la mayoría de las especies hortícolas de la zona mediterránea, necesitan de un sistema de nebulización especialmente durante el principio de la campaña de cultivo y después del trasplante (Montero et al. 2003). El uso de los sistemas de nebulización sólo en momentos puntuales del de la campaña implica un uso no optimizado de las instalaciones. Una vez que se realiza una importante inversión en una instalación de este tipo, lo interesante sería sacarle el máximo partido posible, es por ello por lo que un uso alternativo de estos sistemas sería la aplicación de productos fitosanitarios, con la ventaja de que tendría menos riesgos para el aplicador pues no habría necesidad de que este estuviera en el interior del invernadero en el momento de la aplicación, además de la posibilidad de automatizar las aplicaciones.

Hoy en día existen diferentes sistemas de nebulización los cuales se describen a continuación:

- Nebulización de alta presión

  Se utilizan boquillas de alta presión (Figura 4a), en este caso el equipo funciona con agua cuidadosamente filtrada a una presión comprendida entre 4000 y 6000 kPa. El 95% de las gotas dispersadas desde la boquilla son menores de 20 micras de diámetro. Debido a su escaso peso, estas gotas tienen una velocidad de caída muy lenta, con lo que permanecen suspendidas en el aire el tiempo suficiente para evaporarse sin llegar a mojar el cultivo (Montero et al. 1985). Generalmente, se instala una boquilla por cada 6-8 m^2 de invernadero. El caudal entregado por la boquilla varía en función de la presión, aunque suele ser de aproximadamente 5 $L\,h^{-1}$. Para funcionar tan elevadas presiones, se requiere utilizar tuberías de acero galvanizado,

además de un cabezal de alta presión que requiere una elevada inversión tanto de material como de mano de obra y mantenimiento.

- **Nebulización de baja presión**

  Este tipo de sistemas utiliza agua a baja presión, entre 300 y 600 kPa. En las boquillas de este sistema (Figura 4b). Se produce un tamaño de gota mucho mayor que en el caso de la nebulización de alta presión. Debido al tamaño superior de la gota, ésta pesa más y se precipita rápidamente sobre el cultivo. Esto hace que la evaporación sea inferior, con lo que, para el mismo consumo de agua, el descenso de temperatura es menor que con la nebulización a alta presión, aunque se tiene la ventaja de poder emplear aguas de peor calidad y tuberías de polietileno para la distribución del agua.

- **Sistemas aire-agua**

  Es un sistema en el que la nebulización es ocasionada por aire a alta presión que rompe las gotas de agua, en este equipo el agua y el aire viajan en paralelo. En el sistema se mezcla aire a 200-800 kPa con agua a 200-600 kPa. La mezcla se produce en el interior del cuerpo de la boquilla (Figura 4c). Existen varios tipos de boquillas que suelen mezclar agua y aire a alta presión, siendo las mejores las ultrasónicas, que dispersan agua en gotas de tamaño igual o menor a 10 micras. Para que este equipo funcione es necesario el uso de válvulas de control. Se precisan válvulas solenoides para el suministro de aire y válvulas de muelle que admitan agua cuando la presión del aire sea mayor de dos atmósferas. Sin estas válvulas, al arrancar sale un chorro directo de agua hasta que la presión de aire aumenta lo suficiente para nebulizar agua.

a) b) c)

Figura 4: Diferentes tipos de boquillas de nebulización. a) Boquilla agua-aire; b) boquilla de baja presión; c) boquilla de alta presión.

Sus principales ventajas son la de trabajar baja presión, el precio de la instalación no es excesivamente elevado y requieren menos mano de obra. Además, el orificio de salida del agua es grande y no se bloquea con facilidad, por lo que se puede usar agua de mala calidad e

inclusos productos fitosanitarios líquidos. A este respecto, el sistema permite aplicar tratamientos fitosanitarios sin necesidad de ponerse en contacto con el producto. La corriente de aire, además, ayuda a limpiar la boquilla e impide el goteo.

Sin embargo, el necesario disponer de un compresor de aire de elevada potencia.

2.4. Técnicas de aplicación: trabajos previos

En invernaderos del Almería, Garzón et al. (1998) evaluaron el efecto de la presión de trabajo y el volumen de aplicación en un cultivo de pimiento dispuesto en filas pareadas. Realizaron tratamientos de 1333 L ha^{-1} a 1000 kPa y 2333 L ha^{-1} a 2000 y 3000 kPa. Los tratamientos fueron aplicados con un equipo de carretilla con pistola manual. De forma general, los tratamientos obtuvieron coberturas diferentes en el haz para cada altura, 57% para la parte alta, 29% para la parte media y 9% para la parte baja. En el envés observaron una tendencia similar pero con coberturas mucho menores (5,2%, 2,6% y 0,6% para la parte alta, media y baja respectivamente), por lo que la relación entre el haz y el envés fue en general superior a 10. Los autores consideran que estos tratamientos son de baja eficacia y añaden las dificultades que conlleva la forma de cultivo en filas dobles.

También, Garzón et al. (2000) en invernaderos de Almería, investigaron la eficacia de la aplicación obtenida con un cañón pulverizador. El equipo estaba preparado para entregar un caudal de 70 L min^{-1} de caldo y 12.500 m^3 h^{-1} de aire con seis boquillas de pulverización a una altura de 1,8 m. El tratamiento se llevó a cabo desde un pasillo y alcanzó tres filas hacia el lateral. En ausencia de cultivo, se simuló este mediante la colocación de objetivos inertes a cuatro alturas orientando unos hacia el cañón y otros en sentido opuesto. Encontraron grandes diferencias en deposición en alturas asociadas a la aplicación por encima del cultivo, teniendo en cuenta que en las condiciones experimentales estaba ausente el efecto pantalla del mismo. Además se observaron una deposición excesiva en el suelo con la consiguiente pérdida de producto. Los autores concluyen en que el cañón muestra una baja eficacia para el tratamiento de cultivos entutorados de porte considerable en invernadero.

Van de Zande et al. (2000) evalúan la asistencia de aire para el control de *Phytophtora infestans* en patata durante cuatro años. Utilizaron una barra pulverizadora con cortina de aire. Realizaron tratamientos simultáneamente con y sin asistencia de aire, para ello anularon la cortina de aire en la mitad de la máquina. La tasa de aplicación fue la misma en los tratamientos (200 L ha^{-1}). Evaluaron el efecto de la asistencia de aire, el intervalo entre tratamientos y la dosis de fungicida en la

deposición de la pulverización y el control de la enfermedad. Encontraron un 6% más de deposición en la planta en los tratamientos con asistencia de aire. La máxima diferencia la observaron en el nivel medio. Los dos tratamientos produjeron una deposición en el nivel superior mucho mayor que en el nivel inferior. También evaluaron la deposición en el haz y el envés de las hojas en tres estratos (superior, medio e inferior), presentando mayor deposición en el envés de los estratos inferior y medio en los tratamientos efectuados con asistencia de aire.

Piché et al. (2000) trabajaron en el efecto de la asistencia de aire en los cultivos hortícolas. Evaluaron las diferencias en la deposición como efecto de la asistencia de aire y el volumen de aplicación con barras pulverizadoras. Las tasas de aplicación fueron 100 y 200 L ha^{-1}. Para los tratamientos con asistencia de aire utilizaron boquillas de abanico plano, para los tratamientos sin asistencia usaron boquillas de cono hueco. Evaluaron las aplicaciones sobre cultivos de brócoli y patata. Con 100 L ha^{-1} la asistencia de aire mejoró la uniformidad para las tres alturas de muestreo (superior, media, inferior) en los dos cultivos. Para esta tasa también encontraron mayor homogeneidad de la deposición entre el haz y el envés. Cuando utilizaron 200 L ha^{-1}, la asistencia de aire mejoró la uniformidad en altura y la relación entre el haz y el envés en patata pero no en brócoli.

Lee et al. (2000) estudiaron las aplicaciones sobre cultivos entutorados de tomate con barras verticales en invernaderos del Reino Unido. Buscando las mejores condiciones de aplicación, evaluaron el efecto del tipo de boquilla, el volumen de aplicación, la asistencia de aire y la configuración de la barra. La barra de aplicación fue desplazada manualmente ya que el invernadero existían tubos de calefacción que fueron usados como railes. Utilizaron boquillas de abanico plano de 80º y 110º para las aplicaciones hidráulicas y de cono hueco para las aplicaciones hidroneumáticas. Buscando mayor deposición en el envés de las hojas, colocaron las boquillas en dos direcciones, 45º hacia arriba u horizontales. Observaron indicios de que la mejor distribución en la relación haz y envés se obtendría con boquillas de abanico plano orientadas 45º hacia arriba y con boquillas de cono hueco con asistencia de aire con una velocidad de 2,5 m s^{-1}.

Molina et al. (2001) realizaron un estudio en el que se comparó la eficacia de diferentes tratamientos fitosanitarios en vid, mediante una pistola hidráulica y un pulverizador neumático con ventilador centrífugo. Los resultados obtenidos fueron que la eficacia alcanzada por la pistola y el nebulizador neumático era similar. Sin embargo, con la pistola se llegó a utilizar entre 3 y 6 veces más volumen de caldo fitosanitario, y en lo que respecta a materia activa, la cantidad empleada por la pistola fue entre 1,76 y 3,52 veces superior.

Planas et al. (2001), llevaron a cabo un estudio en el que se compararon diferentes métodos de aplicación. Para la ejecución de los métodos de aplicación se

ensayó un pulverizador hidroneumático autopropulsado de dimensiones reducidas y la pulverización con pistola que montaba una boquilla de chorro cónico y, alternativamente, una boquilla de doble abanico plano. Destacaron la mejor uniformidad de distribución y los reducidos niveles de pérdidas del equipo autopropulsado frente al tratamiento con pistola.

En invernaderos de Almería, Sánchez-Hermosilla et al. (2001), evaluaron cuatro tipos de pistolas de aplicación manual, en las que variaron el número de boquillas (1, 2, 3 y 4). Las variables que estudiaron fueron la densidad de impactos, la tasa de recubrimiento y los correspondientes coeficientes de variación. Observaron que la mayor tasa de recubrimiento era obtenida con la pistola con tres boquillas y la menor densidad de impactos fue obtenida con la pistola de una sola boquilla.

Usera et al. (2002) estudiaron el comportamiento de un nebulizador frio en invernadero, con el fin de evaluar la calidad de la distribución y validar un modelo matemático que predijera el comportamiento de estos equipos en invernaderos de distintas dimensiones. Utilizaron un nebulizador estacionario programable para la aplicación nocturna de forma automática. Tanto en los resultados experimentales como en las predicciones del modelo el flujo presentaba características no estacionarias que contrastaban con las previstas por el fabricante. Se alcanzaron tasas de deposición mucho mayores a las previstas en la línea del equipo nebulizador. También encontraron una baja deposición después de apagar el equipo, lo cual indica, según el autor, que este proceso está asociado a la presencia del flujo del aire generado por el ventilador.

La barra de aplicación vertical fue evaluada como alternativa a las aplicaciones con pistolas hidráulicas manuales en un cultivo de tomate en invernadero por Sánchez-Hermosilla et al. (2003). Utilizaron un equipo móvil de ensayos diseñado por la Universidad de Almería dotado de barras verticales y aplicaron a una distancia entorno 0,3 m de la masa vegetal. El vehículo era accionado por un motor eléctrico dotado de todos los componentes de un pulverizador y los sensores y sistemas de control necesarios para registrar el valor de las variables que definían la aplicación (presión, volumen y velocidad de trabajo. Los tratamientos con pistola manual fueron desarrollados en un ambiente habitual de trabajo en el que se desenvuelven los productores de la zona en este tipo de cultivo, mientras que los tratamientos con barra vertical fueron hechos con dos tipos de boquillas (boquillas de abanico y de cono hueco) y a tres volúmenes diferentes (1000, 750 y 500 L ha^{-1}), a una presión de 1500 kPa. Utilizaron tres boquillas de abanico distanciadas 0,6 m entre sí y cuatro de cono hueco separadas 0,4 m. Los tratamientos fueron caracterizados utilizando papel hidrosensible como colectores artificiales, midiendo la superficie cubierta en el haz y el envés de las hojas, a cuatro profundidades y a tres alturas de la masa vegetal. Las pérdidas también fueron evaluadas en el suelo y en planos adyacentes a la masa vegetal de la línea

evaluada. Los resultados indicaron un mejor comportamiento de la barra vertical equipada con boquillas de abanico respecto al tratamiento con las boquillas de cono hueco en todos los ensayos. En cuanto al volumen de aplicación, la superficie cubierta fue proporcional al volumen aplicado, obtuvieron grados aceptables de cobertura con aplicaciones de 500-750 L ha-1, volúmenes muy inferiores a los normalmente usados en cultivo de tomate, aunque en la mayoría de los ensayos, la superficie cubierta en el envés de las hojas fue insuficiente.

Zhu et al. (2004) investigaron la penetración de los tratamientos fitosanitarios sobre cacahuete dispuesto en filas simples y filas pareadas en tres etapas diferentes del cultivo. Utilizaron tratamientos con cuatro tipos diferentes de boquillas (chorro en abanico, cono hueco, boquillas de chorro doble plano y boquillas con inducción de aire). Las boquillas fueron puestas en funcionamiento a una presión de 276 kPa, una velocidad de avance de 6,4 km h^{-1} y a 0,5 m sobre el cultivo. Midieron el índice de área foliar (LAI, Leaf Area Index) y la altura de la planta para cada ensayo y los relacionaron con la deposición en la parte alta, baja y media de la planta. Determinaron la deposición de la parte alta, media y baja con un caldo compuesto por una mezcla de agua y un trazador fluorescente. Corrigieron la concentración de las muestras con la calibración de la fotodegradación del trazador expuesto a condiciones de luz solar directa, sombra artificial y oscuridad. Los resultados fueron que para los cuatro tipos de boquillas, durante la etapa de crecimiento, la deposición decrecía desde la parte superior a la parte inferior del cultivo, teniendo una tendencia lineal respecto al incremento del LAI. Las boquillas de inducción de aire produjeron 2,6 veces mayor deposición para líneas simples de cultivo y 1,6 veces para líneas de cultivo pareadas comparadas con las boquillas en abanico a 75 días después del trasplante. Durante las tres etapas de crecimiento las boquillas de inducción de aire dieron mayores deposiciones medias en la parte baja de la masa vegetal, seguidas de las boquillas de chorro doble plano y las boquillas de cono hueco. Las boquillas convencionales de chorro plano obtuvieron la menor penetración entre los cuatro tipos de boquillas evaluados.

Ebert et al. (2003) comparan métodos de aplicación en invernaderos con la finalidad de relacionar la distribución del caldo y eficacia biológica. Para ello utilizan plantas de soja en macetas. Llevan a cabo dos tratamientos a la tasa de aplicación recomendada por el fabricante y otros dos con la misma tasa de aplicación. Utilizaron nebulizador frío, un pulverizador neumático con carga electrostática y una pistola manual con boquilla de cono hueco. Evaluaron la retención del caldo en las hojas y brotes. En los dos ensayos a volumen constante, el equipo con carga electrostática obtuvo la menor deposición. Los autores no relacionan la retención y la eficacia biológica a través de los experimentos realizados, pero es de observar que los tratamientos son, en todos los casos de bajo volumen de aplicación y tamaño de gotas.

Nuyttens et al. (2004b) aplicaron un método cuantitativo con quelatos minerales para evaluar la deposición y distribución de los tratamientos fitosanitarios dentro de cubiertas de tomate y pimiento. El principal objetivo fue investigar el efecto de la separación de las boquillas en una barra vertical y la distancia de aplicación al cultivo en la distribución de la pulverización. Hicieron experimentos con papel hidrosensible y principalmente con quelatos de manganeso y molibdeno como trazadores. Los equipos de aplicación consistieron en barras verticales de pulverización montadas sobre dos dispositivos: un carro tirado manualmente por un operario y un vehículo motorizado. En las barras montaron ocho boquillas de abanico plano separadas 0,50 m entre sí y posteriormente 12 boquillas espaciadas 0,35 m, tanto en el carro manual como en el vehículo motorizado. Llevaron a cabo los ensayos en invernaderos típicos del sureste europeo con cultivos de tomate y pimiento. En un primer ensayo determinaron la distancia óptima de las barras al cultivo, para ello colocaron tarjetas hidrosensibles a diferentes alturas sobre postes de madera y en el suelo. Después, realizaron pulverizaciones a una distancia de los postes de 0,20 m a 0,40 m con un intervalo de 0,05 m. Finalmente determinaron que la distancia óptima de la barra al cultivo debía ser en torno a 0,30 m, tanto para una separación de boquillas de 0,5 m como para de 0,35 m. En otro ensayo, utilizaron los quelatos de manganeso y molibdeno para determinar la deposición y distribución de los tratamientos sobre las plantas. Utilizaron como colectores papeles de filtro que colocaron en las plantas desde una altura de 0,70 m a 1,90 m con intervalos de 0,30 m, en cada altura colocaron un papel en el haz y otro en el envés de la hoja. Los volúmenes de aplicación fueron 500 L ha^{-1} y 350 L ha^{-1} para pimiento y tomate respectivamente en todas las configuraciones. Demostraron que los tratamientos con una separación de 0,35 m de las boquillas se obtenían mejor distribución en la pulverización que con una separación de 0,50 m. Por último, los autores recomiendan realizar los tratamientos con boquillas separadas 0,35 m y a una distancia de 0,30 m del cultivo para boquillas de abanico con un ángulo de apertura 80º y un ángulo de solape de 7º.

Van Os et al. (2005) evaluaron el efecto de la presión de trabajo y la tasa de aplicación en un cultivo de tomate en invernadero. Aplicaron entre de 500 a 1000 L ha^{-1} con el cultivo a 0,75 m de altura y entre 1000 y 3000 L ha^{-1} con el cultivo a 2,8 L ha^{-1}. Utilizaron barras de aplicación verticales con boquillas de abanico plano de 80º de apertura. Encontraron mayor deposición el suelo cuando trataron a la presión mayor. Al final del ciclo, con las boquillas orientadas hacia arriba 45º, observaron menor deposición en el suelo, pero no evaluaron la disposición horizontal. En lo que respecta a la deposición, fue siempre superior en el haz.

Brown et al. (2007) hicieron un trabajo sobre la eficacia de cuatro herbicidas cuando se aplicaban sobre malas hierbas en cultivos de maíz (*Zea mays* L.) con boquillas de chorro plano y boquillas de inducción de aire. Realizaron 12

experimentos de campo a lo largo de 4 años para determinar la influencia de la dosis, el tipo de boquilla, el volumen de aplicación y la presión en la eficacia en el control de malas hierbas de los herbicidas en campos de maíz. Cuando se trataba a dosis recomendadas por el fabricante las boquillas de chorro en abanico, comparadas con las boquillas de inducción de aire, proporcionaron un mejor control de las malas hierbas.

El efecto de la inclinación de las boquillas fue evaluado por Sánchez-Hermosilla et al. (2007) en un cultivo de pimiento en invernadero en tres ensayos con diferente desarrollo del cultivo. Los autores utilizaron barras verticales con boquillas de abanico plano de 95º de apertura distanciadas 0.5 m entre sí. Con las boquillas inclinadas 45º hacia arriba obtuvieron mayor deposición en el envés, mayor penetración y menores pérdidas en el suelo. Este fenómeno fue atribuido a la estructura de la planta de pimiento, donde las hojas exteriores forman una pantalla que dificulta la penetración de las gotas dirigidas de forma horizontal.

En otro trabajo Derksen et al. (2008) experimentaron en invernaderos de flor de pascua (*Euphorbia pulcherrima*) para determinar las diferencias en la retención de la pulverización para boquillas simples, evaluaron tres aplicaciones hechas usando tres volúmenes de pulverización diferentes y tres calidades de pulverización distintas. Para ello utilizaron una mezcla de colorante (Sulfaflavina brillante) soluble en agua, como colectores utilizaron placas Petri de 33,9 mm de diámetro y 9,7 mm de profundidad que fueron colocados dentro del follaje pero cerca del exterior de la masa vegetal, de tal forma que siempre tuvieran hojas por encima. Colocaron dos colectores, delante y detrás de la planta respecto a la dirección de la pulverización. Las muestras conseguidas fueron cuantificadas comparando la intensidad de emisión a 460 nm usando un espectrofotómetro de luminiscencia. Para las mismas áreas de la masa vegetal, encontraron pocas diferencias en la deposición entre los diferentes tratamientos. Los mayores depósitos fuero cuantificados en áreas frontales de la masa vegetal. El alto volumen de aplicación produjo la mayor deposición en los colectores artificiales en todas las calidades de pulverización. Los autores no vieron diferencias significativas entre los tratamientos de bajo y medio volumen.

También Braeckman et al. (2009) hicieron otro estudio en el que la deposición en macetas de hiedra (*Hedera algeriensis* cv. Montgomery, Hibb.), cultivada en estantes colgantes dentro de invernadero, fue comparada con una pistola tradicional de pulverización con boquillas de núcleo de disco y un carro tirado manualmente equipado con dos barras verticales de pulverización. Los tratamientos con la pistola de pulverización fueron desarrollados a una tasa de aplicación de 8500 L ha^{-1}, mientras que para el sistema de barras verticales hicieron dos aplicaciones de volumen reducido (2500 y 5000 L ha^{-1}) con cinco combinaciones diferentes de tipos de boquilla, tamaño de gota, y presión para cada aplicación. Como trazador utilizaron quelatos minerales y como colectores rectángulos de papel de filtro

colocados en cinco posiciones diferentes de la planta: dos eran colocados en el exterior de la zona alta de la planta, uno en el en el centro de la maceta y otros dos eran colocados a cada lado de los tallos colgantes. Los autores subrayaron que, además de la tasa de aplicación, sólo el equipo de aplicación usado tenía un efecto importante sobre la deposición. El tipo de boquilla, el tamaño de gota, y la presión en el sistema de barras verticales sólo tuvo un efecto menor en la deposición. Aunque la pistola de pulverización tuvo mejores resultados en las zonas accesibles del cultivo, el rendimiento en las zonas más densas del cultivo fue menor. Con un 240% más de volumen (8500 L ha^{-1}) y de químicos, la deposición no fue significativamente diferente de la obtenida con los sistemas de barra vertical aplicando a 2500 L ha^{-1}. La pulverización a 5000 L ha^{-1}, con la barra vertical logró un 82,9% más de deposición general en la zona principal del cultivo que la pistola de pulverización a 8500 L ha^{-1}. Para los tratamientos aplicados con el sistema de barras verticales, el doble de volumen de aplicación obtuvo una deposición similar, excepto en el interior de la masa vegetal que fue mayor, por lo que esta tasa de aplicación fue la más efectiva.

Braeckman et al. (2010) realizaron un trabajo en el que compararon diferentes tipos de boquillas en dos cultivos distintos, fresa y tomate. Para ello utilizaron barras de pulverización autopropulsadas con boquillas separadas de 0,2 a 0,25 m para el caso de fresa, y para tomate, utilizaron barras verticales montadas sobre un carro que se desplazaba sobre tubos de calefacción que a su vez era arrastrado por el operario. Como referencia usaron la pistola de pulverización con la configuración común entre los agricultores de la zona. Observaron que, sin tener en cuenta, el tipo de boquilla montada, la barra vertical obtuvo mejores resultados que la pulverización con pistola, tanto en fresa como tomate. Los experimentos también mostraron la importancia de una buena elección de la boquilla cuando se usa la barra vertical, las mayores deposiciones en fresas, tanto en el exterior como en el interior de la masa vegetal, fueron logradas usando boquillas de inducción o boquillas de abanico plano a la presión de pulverización recomendada. Las boquillas de doble salida con inducción de aire dieron deposiciones suficientes en el exterior del cultivo de fresa pero mostraron una tendencia a tener menor deposición en el interior del cultivo. En tomate, de los 5 tipos de boquillas evaluadas con la barra vertical estándar, las boquillas de chorro en abanico y las boquillas de chorro doble con inducción de aire dieron mejores resultados, operando a la presión de trabajo recomendada por el fabricante. Además, usando boquillas de chorro en abanico y tamaño de gota fino a una presión superior a los rangos recomendados se obtuvieron deposiciones menores dentro del cultivo.

En un trabajo realizado sobre macetas de flor de pascua Derksen et al. (2010) intentaron determinar las diferencias entre el rendimiento de diferentes técnicas de pulverización y la retención del fitosanitario en la masa vegetal con el objetivo de

determinar que técnicas producen mayores deposiciones sobre el envés de las hojas. Para ello llevaron a cabo ensayos en invernadero. Utilizaron cinco tratamientos: un tratamiento con pistola a volumen y presión recomendada, un tratamiento con pistola volumen reducido (50% menos del recomendado) y presión recomendada, un tratamiento con pistola a volumen recomendado y alta presión (4 veces superior a la recomendada), un tratamiento con boquillas de chorro doble plano montadas sobre un carro propulsado manualmente y boquillas de chorro plano con asistencia de aire montadas también montadas sobre un carro. Para los tratamientos utilizaron un caldo compuesto por una mezcla de agua y trazador fluorescente (BSF) y fijaron colectores de papel de filtro en el envés de las hojas de la parte superior e inferior de las plantas muestreadas. Los ensayos mostraron diferencias significativas entre la cantidad de caldo depositada en la parte superior e inferior de la planta, siendo el depósito mayor en la parte superior. La alta presión tuvo un papel fundamental en los mayores depósitos obtenidos en la parte superior de la planta. El tratamiento con boquillas de chorro doble no tuvo mayor deposición envés de las hojas que los tratamientos con pistola, los autores explican este resultado atribuyéndoselo a la pericia del operario y el ángulo de aplicación. La aplicación con boquillas de chorro plano asistidas por aire mejoraron la deposición en la parte baja de la planta, pero no encontraron diferencias significativas con el resto de tratamientos.

Foqué y Nuyttens (2011a) compararon sobre macetas de hiedra canaria (*Hedera algerinensis* cv. Montgomery) cuatro tipos de boquillas montadas sobre una barra de pulverización horizontal. Utilizaron boquillas de inducción de aire con chorro en abanico, boquillas de inducción de aire de cono hueco y boquillas de abanico plano, estas últimas las colocaron de tres posiciones diferentes; con el chorro perpendicular a la dirección de avance, con el chorro inclinado 30º hacia delante y con el chorro inclinado 30º hacia atrás respecto de la vertical. En total se realizaron seis ensayos. Para evaluar la de posición en la planta utilizaron como trazadores quelatos metálicos y como colectores papeles de filtro, que colocaron en diferentes partes de la planta; en la parte superior en el haz y el envés de una hoja, en la parte media en el haz y el envés de otra hoja, colocaron uno verticalmente en el tallo cerca del suelo y otro en el suelo puesto horizontalmente. Concluyeron en que las boquillas de chorro hueco, las de abanico estándar (inclinadas), las de inducción de aire y chorro en abanico rindieron mejor que el resto. Cuando la disposición era vista desde la parte superior a la parte inferior de las plantas, las boquillas de inducción en abanico y las de cono hueco siempre obtuvieron resultados comparables, llegando a ser las mejores técnicas de aplicación. Según los autores las boquillas de cono hueco debían ser las utilizadas en invernadero debido a su menor tamaño de gota y a la menor capacidad de deriva (Nuyttens et al., 2007 y 2010). Los autores indican que el uso de boquillas de abanico estándar inclinadas tiene un efecto positivo en la penetración y en la deposición del envés de las hojas.

En otro estudio elaborado por Foqué y Nuyttens (2011b) en el que realizaron pulverizaciones sobre macetas de hiedra canaria con carro autopropulsado equipado con boquillas de inducción de aire e inclinadas 0 y ±30º respecto a la perpendicular de la dirección de avance de la barra de pulverización, los autores evaluaron seis experimentos; tres configuraciones de inclinación de las boquillas (0, 30º y -30º) con y sin inducción de aire. Para determinar la deposición del producto fitosanitario sobre el cultivo utilizaron trazadores metálicos y papel de filtro como colectores situados a las mismas alturas que utilizaron Foqué y Nuyttens. (2011a). No encontraron diferencias significativas de deposición entre tratamientos en los colectores situados en el haz de las hojas (tanto en la parte superior de la planta como en la parte media) y en los situados a nivel del suelo o fijados en el tallo. Si encontraron diferencias significativas en los colectores situados en el envés, tanto de la parte superior como de la inferior de la planta. La deposición de pulverización con boquillas con un ángulo de 30º a -30º sin asistencia de aire fue menor en el envés de la parte superior comparada con la pulverización con boquillas con una inclinación de -30º con inducción de aire. Obtuvieron el mismo resultado para el envés de las hojas de la parte media. A nivel del suelo se encontraron deposiciones significativamente mayores cuando se trataba con boquillas orientadas verticalmente sobre el cultivo con asistencia de aire comparada con pulverizaciones con -30º o 30º sin asistencia de aire. Los autores concluyeron en que la técnica de aplicación tiene un efecto sobre la deposición en el envés de las hojas, en la penetración y en la uniformidad del caldo dentro del cultivo. El uso de asistencia de aire mejora la penetración y la deposición en el envés de las hojas y tiene como resultado una mayor distribución de la pulverización sobre la masa vegetal. Sin asistencia de aire el ángulo de inclinación sólo puede mejorar la penetración, pero no la deposición en el envés.

Olivet et al. (2011) evaluaron un nebulizador frio para determinar la eficiencia en la deposición y distribución de la nube y para el control de los daños por insectos y enfermedades fúngicas en plantas de pimiento (*Capsicum annum* L.) cultivadas en invernadero. Colocaron un nebulizador en un extremo de un invernadero de una superficie de 800 m^2, y midieron la deposición y distribución de un trazador fluorescente aplicado con el nebulizador mediante el uso de métodos cuantitativos y análisis de imagen. Determinaron que el incremento de la velocidad del flujo de aire procedente del nebulizador, medido con un anemómetro, estaba correlacionado con un incremento en la deposición del trazador fluorescente. Encontraron una disminución constante del trazador desde la zona cercana a la ubicación del nebulizador a l zona más lejana. Sin embargo, no observaron diferencias significativas en la densidad de gotas entre las partes interiores y exteriores del cultivo. La densidad media de gotas fue de 1828 cm^{-2}, pero limitada solamente al haz de las hojas. También evaluaron la distribución y el número de trips (*Thrips* sp.) y el oídio (*Leveillula taurica*) en hojas durante un periodo de cinco meses. El control de trips fue muy

bueno en todo el invernadero en respuesta a los tratamientos fitosanitarios. Aunque el control de oídio, que en general fue adecuado, tuvo un desarrollo importante de la enfermedad en ciertas áreas del invernadero que estaban distantes del nebulizador. Los autores concluyen en que el empleo de nebulizadores fríos en invernadero necesita ser analizado cuidadosamente teniendo en cuenta las dimensiones del invernadero y las plagas y enfermedades que van a ser controladas debido a la desigual deposición de los productos pulverizados.

Sánchez-Hermosilla et al. (2011a) realizaron un trabajo en el que evaluaron la deposición de un fitosanitario en la masa vegetal y las pérdidas de este en el suelo. Para ello, utilizaron una caretilla manual con barras de pulverización vertical con dos configuraciones, boquillas de abanico plano de 110º y boquillas de inducción de aire con una separación de 0,5 m, comparadas con un tratamiento de referencia efectuado con una pistola de pulverización manual equipada con dos boquillas de abanico doble. Los ensayos se desarrollaron en un invernadero multitunel de 960 m2 en el que se estaba cultivando tomate (*Solanum lycopersicum* L.). Utilizaron como colectores tiras de papel de filtro que colocaron en doce zonas, a tres alturas y cuatro profundidades. También colocaron papel de filtro a nivel del suelo en cuatro profundidades para evaluar las pérdidas. Para cada ensayo se tomaron un total de 140 muestras. Los resultados mostraron que para una misma tasa de aplicación, la carretilla manual, comparada con la pistola pulverizadora, permite mejorar el volumen recuperado de la masa vegetal debido principalmente al aumento de la deposición y las menores pérdidas en el suelo. Respecto a la uniformidad, los tratamientos realizados con barras verticales fueron más uniformes que los que se hicieron con la pistola pulverizadora. La deposición en el envés de las hojas ha sido muy baja y poco uniforme en todos los ensayos. Sin embargo, los realizados con la carretilla mejoraron por lo menos dos veces la deposición en el envés de la pistola y la uniformidad también. Los ensayos realizados con la carretilla manual obtuvieron resultados muy similares y no encontraron diferencias significativas en cuanto a la deposición y pérdida en el suelo, aunque las boquillas de abanico plano han conseguido pulverizaciones más uniformes y con mayor deposición que las realizadas con boquillas de inducción de aire.

En otro trabajo Sánchez-Hermosilla et al. (2011b) estudiaron la deposición en la masa vegetal y las pérdidas en el suelo comparando diferentes volúmenes de pulverización en plantas de tomate cultivadas en invernadero. Para ello usaron un vehículo autopropulsado equipado con barras de pulverización y cuatro boquillas de abanico por barra separadas 0,5 m y con un ángulo de solape de 7º. El equipo de referencia fue una pistola hidráulica manual conectada una carretilla con electrobomba. Realizaron dos aplicaciones con la pistola de 1666 L ha^{-1} a 1500 kPa y otra a la misma presión pero a 865 L ha^{-1}, con las barras de pulverización hicieron aplicaciones de 1000, 750 y 500 L ha^{-1} a 800 kPa. En todos los ensayos utilizaron

tartrazina como trazador, como colectores usaron tiras de papel de filtro que colocaron en el haz y el envés de las hojas a tres alturas y a cuatro profundidades de las plantas, además colocaron papel de filtro en el suelo a cuatro profundidades para determinar las pérdidas. Los resultados mostraron que con el vehículo autopropulsado con barras verticales se obtenían mejores resultados que con la pistola tradicional, la pistola en general tuvo menor penetración y menor uniformidad. Trabajando a dosis de 1000 L ha^{-1} obtuvieron una deposición adecuada con gran uniformidad. La utilización del vehículo autopropulsado proporcionó un ahorro del 40% del producto fitosanitario y redujo a la mitad las deposiciones en el suelo. En cambio con la pistola manual trabajando a 1666 L ha^{-1} se obtuvieron mayores deposiciones en el suelo que en la planta, mientras que con el vehículo autopropulsado las pérdidas, aplicando 1000 L ha^{-1} eran un 50% inferiores. Respecto a la deposición en el envés de las hojas, ambas técnicas dieron pobres resultados. En este sentido, los autores inciden en que es importante investigar modificaciones o alternativas ya la mayoría de los problemas fitosanitarios se generan en el envés de las hojas.

Hay poca literatura sobre los tratamientos con sistemas de nebulización fijos, por tanto la aplicación de productos fitosanitarios mediante método es una técnica novedosa cuya capacidad aún no se conoce con detalle.

3. Material y Métodos

3. Material y Métodos

En el presente trabajo de investigación se ha realizado la comparación de cuatro métodos de aplicación de productos fitosanitarios en invernadero (equipo fijo de nebulización, pistola pulverizadora y vehículo autopropulsado equipado con barras verticales con dos configuraciones, boquillas de chorro en abanico plano y boquillas de chorro cónico hueco), mediante la cuantificación de la deposición de un trazador sobre colectores artificiales colocados en cada una de las plantas de estudio. A continuación se describen los materiales y métodos empleados.

3.1. Ubicación

El trabajo se ha llevado a cabo en instalaciones del Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera (IFAPA) perteneciente a la Junta de Andalucía, situado en el paraje Romeral del término municipal de La Mojonera (Almería, Latitud 36º48' N, longitud 2º41' W) (Figura 5 y Figura 6), donde se han desarrollado los ensayos de campo y en las instalaciones de la Universidad de Almería (La Cañada de San Urbano) donde se realizó el análisis de las muestras obtenidas en el campo.

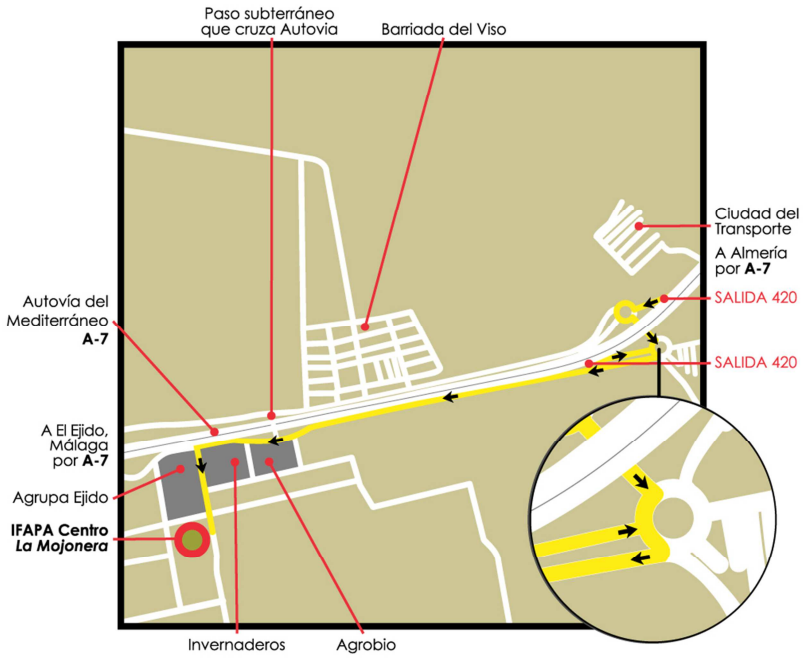

Figura 5: Plano de situación.

Los trabajos se han desarrollado a dos niveles, uno a nivel de campo y otro a nivel de laboratorio. Para cada tipo de tarea han sido necesarios diferentes equipos.

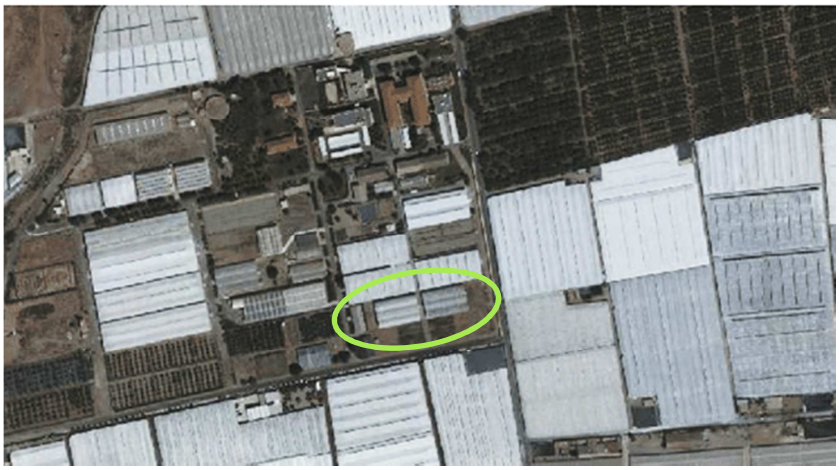

Figura 6: Vista aérea del Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera (IFAPA). Detalle de invernaderos de ensayos.

3.2. Materiales y equipos empleados en campo

A continuación se detallan todos los aspectos relativos a los ensayos de campo realizados durante el presente trabajo.

3.2.1. Invernadero.

Los ensayos han tenido lugar en un invernadero tipo multitunel de 960 m^2 situado en el centro IFAPA de La Mojonera (Figura 7). Este invernadero se está utilizando en el trabajo de campo del Proyecto de Investigación de Excelencia de la Junta de Andalucía titulado "Análisis y evaluación de las técnicas de aplicación de productos fitosanitarios en invernaderos. Reducción del impacto ambiental y optimización técnico-económica".

Se trata de un invernadero 40 m de longitud y 24 m de ancho, multitunel con una altura de 4,5 m a la canal y 5,7 m a la cumbrera y una separación entre arcos es de 5 m. La separación entre pilares interiores es de 5 m y la de los pilares exteriores de 2,5 m. Cuenta con ventanas laterales enrollables, la ventana del sur mediante un motor eléctrico mientras que la del norte es manual, además dispone de ventanas cenitales abatibles de medio arco.

En el invernadero se cambió la malla que cubre el suelo y se distribuyeron de manera adecuada los ramales de riego, así como las líneas de cultivo, con una separación de 2 m para adecuarlas al marco de plantación.

Para los experimentos el invernadero se dividió en tres módulos de entre 240 y 360 m^2 separados mediante una lámina de polietileno y malla anti-insectos, con el objeto de estudiar en cada uno de ellos una técnica diferente de pulverización:

pistola pulverizadora, nebulización y equipo autopropulsado con barras pulverizadoras verticales.

Figura 7: Vista exterior del invernadero multitunel en el que se realizaron los ensayos.

3.2.2. Material vegetal

El material vegetal empleado para llevar a cabo los ensayos fue un cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) de la variedad Deni sen (De Ruiter Seeds) (Figura 8). Deni Sem es una variedad de tomate que se caracteriza por ser una planta vigorosa y abierta, con una distancia de entrenudos corta. Es una variedad recomendada para otoño temprano y para plantaciones de primavera a partir de enero. Sus frutos destacan por su combinación entre gran calibre, buen color y buen sabor, además de una firmeza alta y buena conservación en postcosecha.

Se hizo un cultivo de ciclo corto en primavera plantándose la semilla en semillero el 8 de febrero de 2011, sobre tacos de lana de roca con dos plantas cada uno y realizándose el trasplante 15 de marzo de 2011. El cultivo se desarrolló en un sistema sin suelo utilizándose como sustrato perlita y como contenedores sacos de 14 L (Figura 9a). En cada contenedor de perlita se colocaron tres tacos de lana de roca (Figura 9b).

La plantación se dispuso en líneas pareadas con una separación entre líneas de 2 m y entre plantas de 0,4 m, que origina un marco de plantación de 2,5 plantas m^{-2}.

El agua y los fertilizantes fueron aportados mediante un sistema automático de riego por goteo, mientras que las tareas de cultivo fueron desarrolladas de acuerdo con las prácticas locales.

La duración del ciclo de cultivo fue de 137 días procediéndose al arranque del mismo el 29 de Julio de 2011.

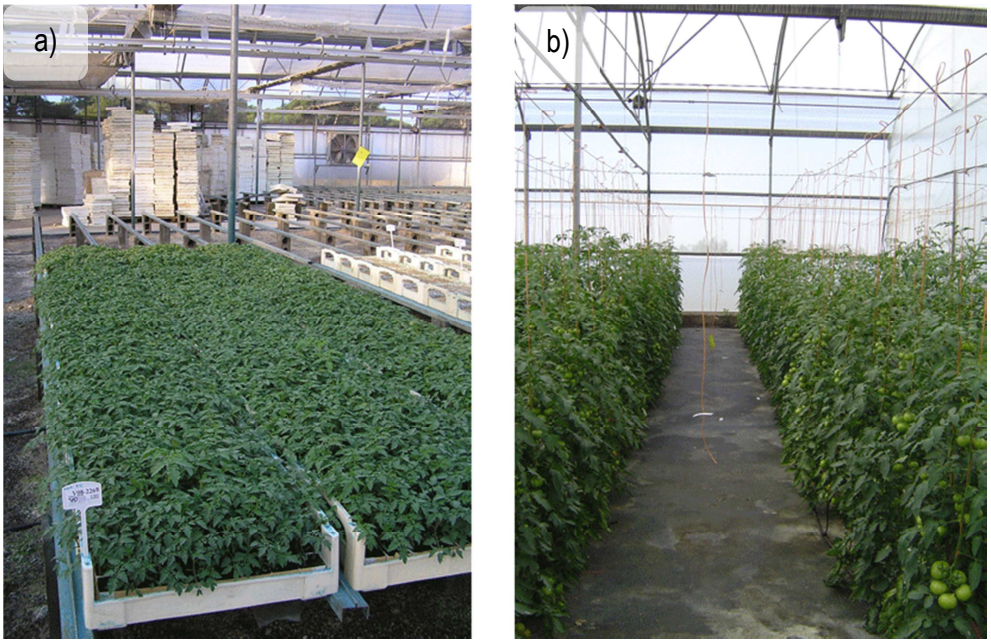

Figura 8: Material vegetal empleado en los ensayos. a) plantas de tomate antes del transplante. b) plantas de tomate dispuestas en el cultivo.

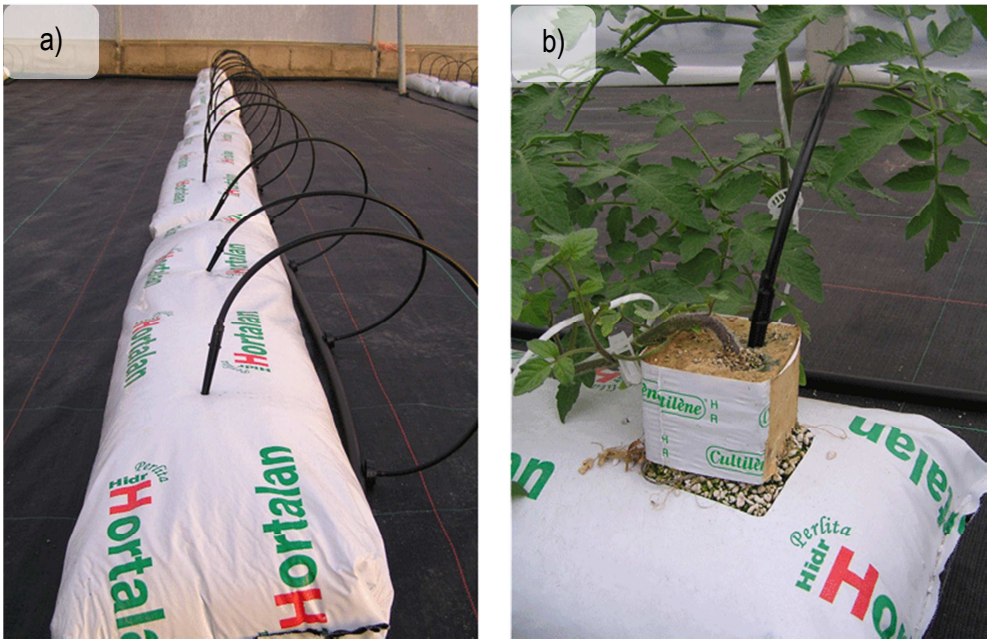

Figura 9: Sistema de cultivo. a) sacos de lana perlita con goteros autocompensantes sobrelínea. b) plantas de tomate sobre lana de roca transplantadas en perlita.

3.2.3. Equipos de aplicación

En el siguiente apartado se describirá los aspectos relacionados a los equipos de tratamiento fitosanitario y su utilización empleados en los ensayos de campo.

Todos los ensayos se realizaron con la protección adecuada dada la exigencia de estos. El equipo de protección individual (EPI) constó de:

- Equipo para la protección de la piel:
  - Mono con capucha de poliéster.
  - Guantes de nitrilo
  - Botas impermeables.
  - Gafas.
- Equipo para la protección de las vías respiratorias:
  - Mascara para cubrir nariz y boca equipada con dos filtros.

3.2.3.1. Descripción de la pistola hidráulica y carretilla.

Para los tratamientos con pistola se utiliza una lanceta con dos boquillas de choro plano de doble salida (Novi-Fan SL,) (Figura 10). Tradicionalmente se han utilizado boquillas de chorro cónico, pero en los últimos años los agricultores de la zona prefieren utilizar boquillas de abanico, porque han observado que consiguen un mejor control fitosanitario. Estas observaciones han sido corroboradas por Garzón et al. (2000) y Planas et al. (2001), que han comprobado que las boquillas de abanico doble originan aplicaciones más eficientes.

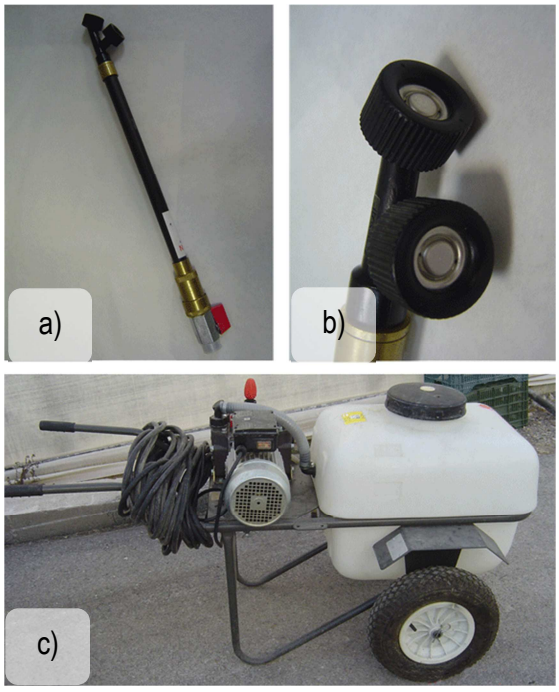

Figura 10: a) pistola de pulverización (lanceta). b) Boquillas. c) Carretilla.

La pistola se conecta a la carretilla, que también es de las más utilizadas en la zona, mediante una manguera de 25 m. Dispone de un depósito, una bomba y un motor eléctrico, con las siguientes características:

- Depósito de polietileno de 100 L de capacidad.
- Motor eléctrico "seperoni IP-55" (230V-50Hz).
- Bomba "Inmovili Pompe M-30", con las siguientes características:
  - Membranas: 2
  - Presión: 3000 kPa.
  - Caudal: 33 L min-1.
  - Potencia: 1,84 KW.
  - Peso: 11.5 Kg.

Todo ello se apoya en un bastidor de acero sobre el que se montan dos ruedas y unos mangos para poder hacer más fácil su transporte.

En la Figura 11 se puede ver un esquema del funcionamiento de la carretilla. La bomba aspira el caldo preparado en el depósito. El filtro de aspiración elimina las partículas sólidas de la corriente líquida, para proteger la bomba, la cual impulsa el caldo hasta el regulador de presión, donde se conecta la pistola de tratamiento. Desde el regulador, parte del caldo dirigido hacia la pistola y el resto es recirculado hasta el depósito. De este modo se consigue mantener constante la presión del sistema y que el caudal que va hacia las boquillas sea constante. También el líquido recirculado funciona como agitador hidráulico homogeneizando la mezcla de producto.

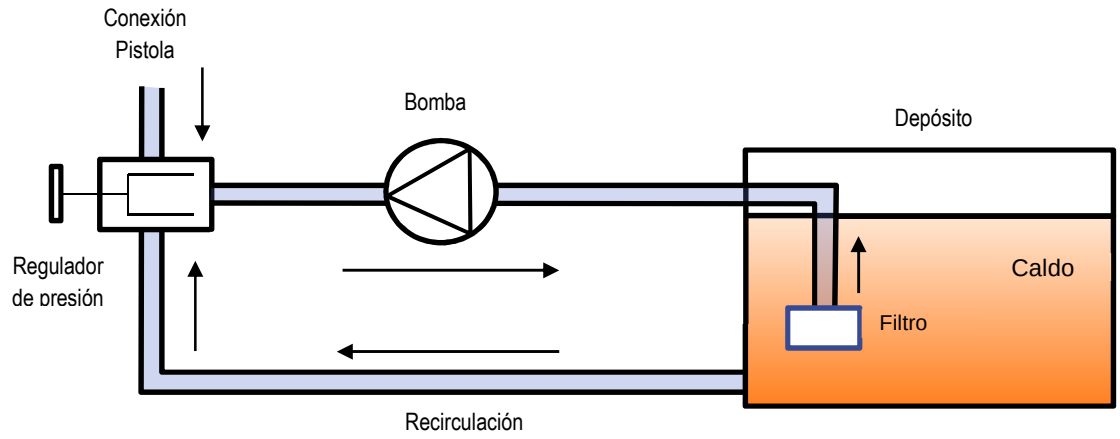

Figura 11: Esquema de funcionamiento de la carretilla pulverizadora.

3.2.3.2. Descripción del equipo autopropulsado con barras verticales.

Para los ensayos con barras verticales se ha utilizado un vehículo autopropulsado especialmente diseñado para la aplicación de tratamientos

fitosanitarios con barras verticales en invernaderos del sudesde español. Se trata de un dispositivo denominado Tizona® (Figura 12a) que cuenta con las siguientes características:

- Motor:
  - Motor diesel LOMBARDINI 25LD 425/2.
  - Potencia: 13,97 kW.
  - Nº Cilindros: 2.
  - Refrigeración por aire
- Transmisión: Tracción a las 4 ruedas hidrostática.
- Dirección hidráulica.
- Peso en vacío: 410 kg
- Peso máximo: 1040 kg (incluye la máquina más el equipo pulverizador más el depósito lleno)
- Velocidad máxima: 1,94 m s^{-1}.
- Radio de giro: 1 m
- Dimensiones:
  - Anchura: 800 mm
  - Longitud: 2253 mm
  - Altura: 1896 mm
- Sistema de pulverización:
  - Bomba pulverizadora: INMOVILLI M50.
  - Caudal máximo: 49 l min^{-1}.
  - Presión máxima de la bomba: 40 bar
  - Capacidad del depósito: 500 litros
  - Portaboquillas orientables con sistema antigoteo.
  - Depósito supletorio lavamanos de 15 l.

El equipo autopropulsado cuenta con un depósito de fibra de vidrio de 500 L de capacidad, donde se almacena el cado fitosanitario que es distribuido al cultivo a través de 2 barras verticales situadas en la parte trasera (Figura 12b). Cada una de estas barras cuenta con 4 salidas para boquillas intercambiables separadas 0,5 m, en función de las necesidades de cada ensayo se opta por un modelo u otro de boquilla.

En el caso de los ensayos con boquillas de choro plano, estas se giran entre 5-10º respecto a la vertical para eliminar la superposición de los chorros de boquillas contiguas y así evitar la colisión entre gotas antes de llegar al objetivo (Figura 13).

Las velocidades de desplazamiento del vehículo se regulan mediante el control de la profundidad del pedal de aceleración, para conseguir los volúmenes unitarios de aplicación deseados (Figura 12c).

Figura 12: a) Vehículo autopropulsado equipado con barras verticales de pulverización. b) Detalle de las barras verticales de pulverización en la parte posterior del vehículo. c) Detalle del pedal de aceleración del vehículo.

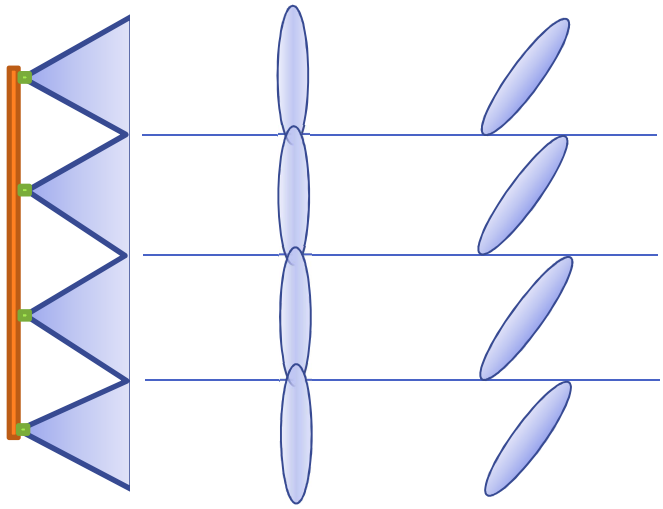

Figura 13: Esquema de disposición den ángulo de las boquillas de chorro plano. a) visión lateral de la pulverización de la barra vertical, b) Proyección de la pulverización con las boquillas sin girar, c) Proyección de la pulverización girando las boquillas entre 5-10º.

3.2.3.3. Descripción del sistema de nebulización.

Para los ensayos de nebulización se ha empleado un sistema de nebulización que combina agua y aire a presión para generar las gotas. Este sistema tiene la ventaja de que genera tamaños de gota muy finos a poca presión y las boquillas se obturan con mayor dificultad.

Se trata de un sistema compuesto por un cabezal (Figura 14) en el que se encuentran dos depósitos, uno donde se almacena el caldo, de 200 L, y otro de 100 L donde se almacena agua de limpieza. El sistema de impulsión está compuesto por dos electrobombas, una conectada al depósito del caldo con una potencia de 0,9 kW y otra conectada al tanque de limpieza de 0,6 kW, las electrobombas no funcionan simultáneamente durante las aplicaciones. A la salida sistema de impulsión se encuentra el equipo de filtración compuesto de un filtro de anillas de 20 $m^3 h^{-1}$ caudal y 140 mesh. El cabezal dispone de 2 manómetros, uno en la aspiración de la bomba y otro después de filtro, para realizar las operaciones de control y conocer el estado de limpieza del sistema de filtración.

Anexo al cabezal se encuentra un compresor de aire empleado para hacer circular el aire comprimido que ayudará a pulverizar el agua.

La red de tuberías se compone de un sistema hidráulico y un circuito neumático que se distribuyen de forma paralela. La red consta de tuberías primarias que distribuyen el agua y el aire hasta los módulos del invernadero, estas tuberías están construidas en polietileno, de las tuberías primarias parten las tuberías segundarias y de estas a su vez las tuberías laterales, también en PE, donde se insertan las boquillas.

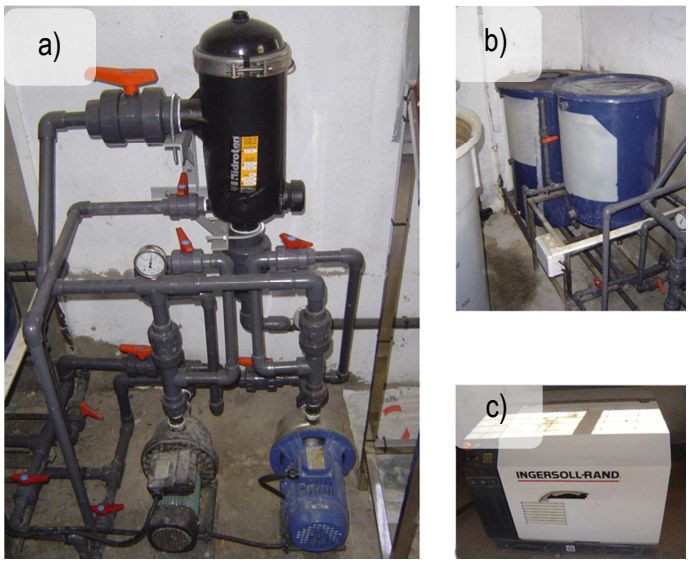

Figura 14: Cabezal del equipo de nebulización: a) Detalle de bombas y filtros. b) Detalle de los tanques de almacenamiento de caldo y agua de lavado. c) Detalle del compresor de aire.

Las boquillas son tipo ficfog están insertadas la tubería de alimentación de agua y mediante un microtubo de PE se conectan a la tubería de alimentación de aire (Figura 15), disponen de una válvula antigoteo para evitar mojar el cultivo una vez que la aplicación ha finalizado. El orificio de salida de la pulverización es de 1 mm y cada boquilla tiene un gasto de 0,059 L min^{-1} y 14,8 L min^{-1} de agua y aire respectivamente.

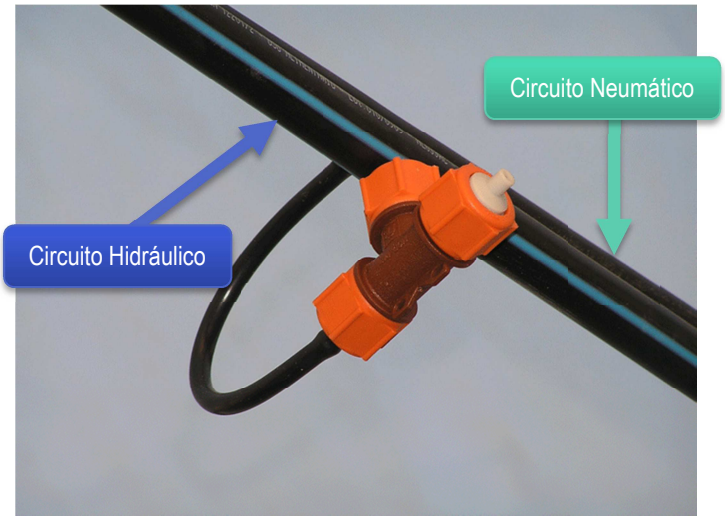

Figura 15: Detalle de las boquillas de nebulización y su colocación en el sistema de tuberías.

El módulo donde se ensaya la nebulización dispone de tres líneas portaboquillas de 24 m separadas cada 5 m, se distribuyen entre dos hileras de cultivo. Están colocadas a una altura de 3 m sobre el suelo. Cada línea portaboquillas tiene 12 boquillas insertadas separadas 2 m, con lo que el marco de colocación de las boquillas corresponde a 0,1 boquilla m^{-2}, se instalan un total de 36 boquillas en el módulo de ensayo. Las boquillas se disponen en direcciones alternativas en la línea central (Figura 16).

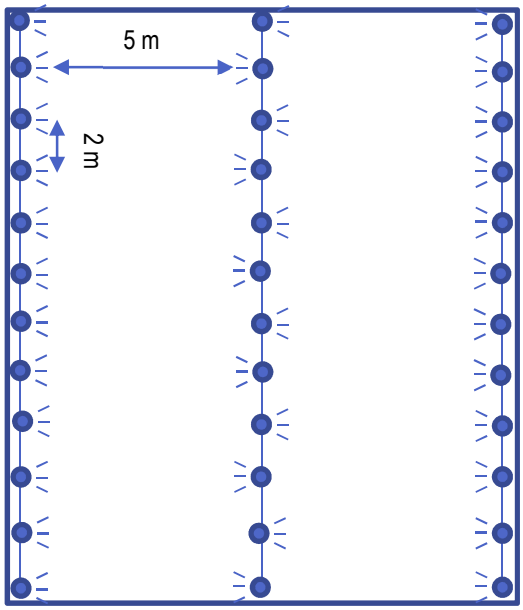

Figura 16: Esquema de la ubicación y orientación de las boquillas de nebulización empleadas en los ensayos.

3.3. Diseño experimental

3.3.1. Muestreo

El invernadero se ha dividido en tres módulos de este a oeste mediante plástico y para permitir el acceso a los diferentes módulos se utilizó malla anti-insectos a modo de puertas corredizas. En cada módulo se hizo un ensayo con cada equipo de pulverización, contaban con una superficie de 360 m^2 para los tratamientos con pistola pulverizadora y barras verticales y de 240 m^2 para los tratamientos con nebulización. El objeto de realizar los ensayos en diferentes módulos consistía en evitar la contaminación por deriva en las plantas de los otros ensayos.

Se realizaron ensayos en dos estados fenológicos diferentes de la planta. Para cada uno de los ensayos se evaluaron cuatro técnicas diferentes de pulverización: pistola hidráulica manual, aplicación mediante vehículo autopropulsado con boquillas de chorro en abanico, aplicación mediante vehículo autopropulsado con boquillas de chorro cónico hueco y aplicación mediante un sistema fijo de nebulización. En total se llevaron a cabo ocho ensayos, dos estados fenológicos por cuatro métodos de aplicación.

Para la determinación de la deposición de la pulverización de los tratamientos se ha seleccionado la utilización de un método colorimétrico, para lo cual se ha seleccionado un colorante que cumpliera los siguientes requisitos:

- Que sea soluble en agua y esté autorizado en alimentación, de forma que se pueda manipular en campo y en laboratorio sin ningún riesgo para las personas que realicen los ensayos. Además al ser solubles en agua, una vez finalizados los ensayos en la masa vegetal puede ser lavada para que el colorante no origine trastornos en su desarrollo, contaminaciones y, como consecuencia, errores en ensayos posteriores.
- Que sea fotoestable. Debe ser un colorante que no se degrade fácilmente al ser expuesto a la radiación solar, para así tener tiempo suficiente para realizar los ensayos y analizar las muestras sin que se produzcan alteraciones en su cuantificación.
- Que tenga espectros de absorbancia fácilmente medibles.

Atendiendo a la utilización de colorantes por otros autores en estudios de deposición la Tartrazina (E-120) es el colorante más empleado para caracterizar la deposición de un tratamiento fitosanitario (p.e., Cross, 1997; Pergher, 1997, 1999 ,2002; Balsari, 2002; Sánchez-Hermosilla, 2011a, 2011b), debido fundamentalmente a que presenta una buena tasa de extracción y es muy estable a la luz solar (Pergher, 2001).

Se decidió utilizar Tartracina (ROHA Europe, S.L.U. – Torrent – España), ya que presenta una alta tasa de recuperación y una alta tasa fotoestabilidad. Es un colorante cuyo uso está autorizado en la Unión Europea y Estado Unidos. Es ampliamente utilizado, por ejemplo en productos de repostería, derivados cárnicos, conservas vegetales, helados y caramelos. También se utiliza en bebidas refrescantes, a las que se les confiere el color de "limón, y es el colorante del condimento que se utiliza como sustituto del azafrán.

La aplicación de colorantes como trazadores para cuantificar la deposición que origina un tratamiento fitosanitario, requiere el empleo de colectores que permitan recoger el producto aplicado. Estos colectores pueden ser artificiales o bien se pueden utilizar las propias hojas de cultivo.

Se utilizaron colectores artificiales de papel de filtro (FILTER LAB Ref. 1238 – Filtros Anoia, S.A. – Barcelona – España), para el análisis cuantitativo de las deposiciones, adquirido de discos que se cortaron mediante una guillotina en rectángulos de 0,08 x 0,03 m, obteniendo un área de colector de $2{,}4\ 10^{-3}$ cm^2. Este tipo de colector permite cuantificar la cantidad de producto que cae en el haz y el envés de las hojas, así como la cantidad de producto que se pierde en el suelo.

Este tipo de colector, es ampliamente conocido y ha sido usado por otros autores (p.e., Nyuttens et al., 2004; Braeckman et al., 2009a y 2009b; Foqué et al., 2010; Sánchez-Hermoilla et al., 2011a y 2011b) en ensayos de deposición con excelentes resultados, por otra parte, la Tartracina tiene un alto porcentaje de recuperación en papel de filtro (próximo al 95%) como indican los resultados obtenidos por Sánchez-Hermosilla et al. (2008).

El empleo de este tipo de colector presenta como ventaja principal que la superficie de recogida es uniforme y no está contaminada por sustancias o partículas de polvo, que frecuentemente se encuentran en la superficie de las hojas. Por otra parte durante el proceso de lavado y extracción de los colorantes no hay riesgos de que la muestra se contamine con ningún tipo de pigmento, como puede ocurrir con las hojas. Su uso es aconsejable para estudios comparativos de deposición.

Para la comparación de los tratamientos se seleccionó una línea al azar para ensayar cada equipo, de cada línea se muestrearon 6 pares de plantas con una separación de 2 m entre ellas. Cada par de plantas seleccionado se considera como una repetición.

Sobre cada pareja de plantas se colocaron colectores en doce zonas, correspondientes a tres alturas (B, C y D) y cuatro profundidades (1, 2, 3 y 4). En cada zona se seleccionó una hoja en la que se colocaron dos colectores, definiéndose así dos posiciones, uno en el haz (H) y otro en el envés (E). Los colectores fueron fijados a

las plantas mediante clips para encuadernar, este sistema no le producía heridas a la hoja, no la aplastaba y tampoco deformaba el papel (Figura 17 y Figura 18).

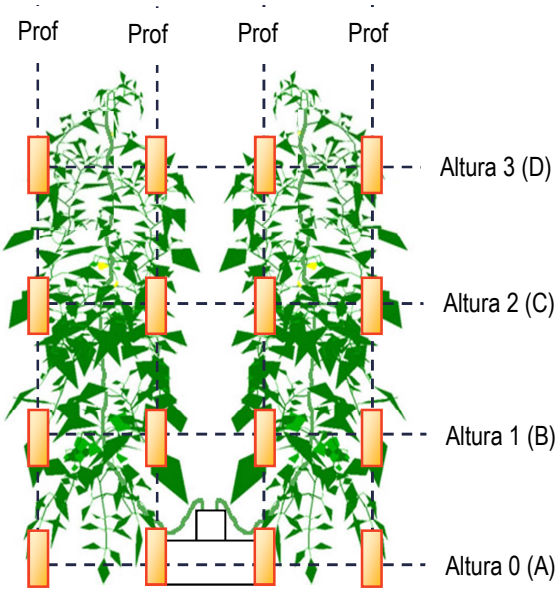

Figura 17: Ubicación de los puntos de muestreo en cada una de las plantas, en cuatro alturas y cuatro profundidades diferentes.

Por otro lado se colocaron colectores en el suelo (altura A), haciéndolos coincidir con las cuatro profundidades muestreadas definidas en cada pareja de plantas para evaluar las pérdidas (Figura 17). También se fijaban en su posición mediante alfileres para evitar que la inercia del chorro de pulverización pudiera desplazarlos de su posición original.

Teniendo en cuenta todo lo anterior en cada par de plantas se toman 28 muestras (3 alturas x 4 profundidades x 2 posiciones + 4 muestras en el suelo), como para cada ensayo se toman 6 repeticiones hace un total de 168 muestras para los tratamientos con pistola y barras verticales pulverizadoras.

El sistema de muestreo sufre una variación en el caso de los tratamientos con nebulización. Para la evaluación de la deposición en las plantas se seleccionan 6 pares plantas al azar uniformemente distribuidas en el módulo puesto por las condiciones del sistema de aplicación ha de tratarse todo el módulo. Cada par de plantas se considera como una repetición. Las posiciones de los colectores y las profundidades son establecidas con el mismo criterio que en el caso de los ensayos de pistola y barras verticales pulverizadoras.

Además en la nebulización se colocan colectores distribuidos entre las líneas de cultivo (P) en 20 puntos distribuidos uniformemente por todo el módulo de ensayo. El orden de numeración de los puntos va del 1 al 20, el primer punto se colocó en el pasillo más al este cercano a la banda del sur, la numeración era de sur a norte en

todos los pasillos, y el último punto en el pasillo más al oeste cerca de la banda del norte. La separación a las bandas es de 1 m, la separación entre filas de puntos es de 2 m y entre puntos de 5 m (Figura 19a). En cada punto se colocan colectores a 3 alturas: a nivel del suelo (0), a un metro (1) y a dos metros (2) del suelo (Figura 19b). Para la colocación de estos se utilizaron hilos de rafia que se colgaron del emparrillado. Los colectores se colocaron prestando atención a que mantuvieran una posición horizontal respecto al suelo, ello se consiguió haciendo un giro de 90º al extremo terminal del clip con el que se sujetaban los mismos (Figura 20).

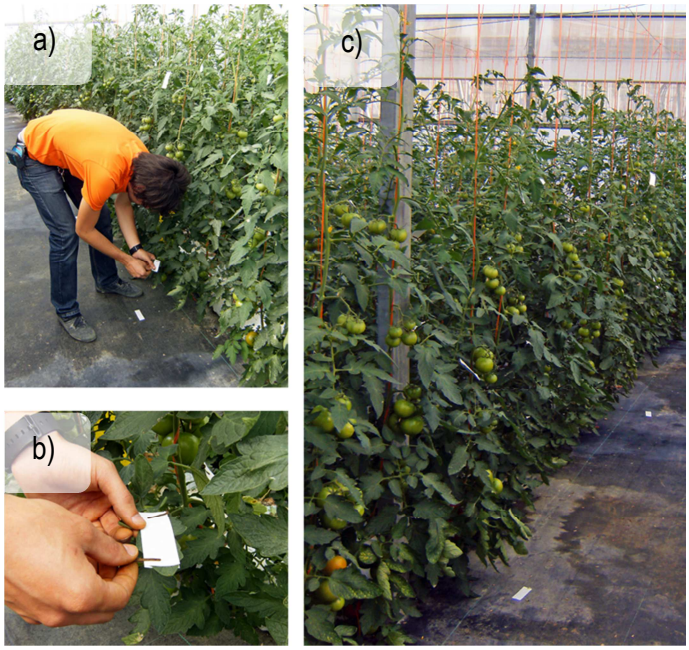

Figura 18: Proceso de colocación de los colectores artificiales en las plantas. a) Detalle de la colocación de un colector en la parte inferior de la planta. b) Detalle de la colocación del colector en la hoja. c) Detalle del resultado final después de haber puesto los colectores en la planta.

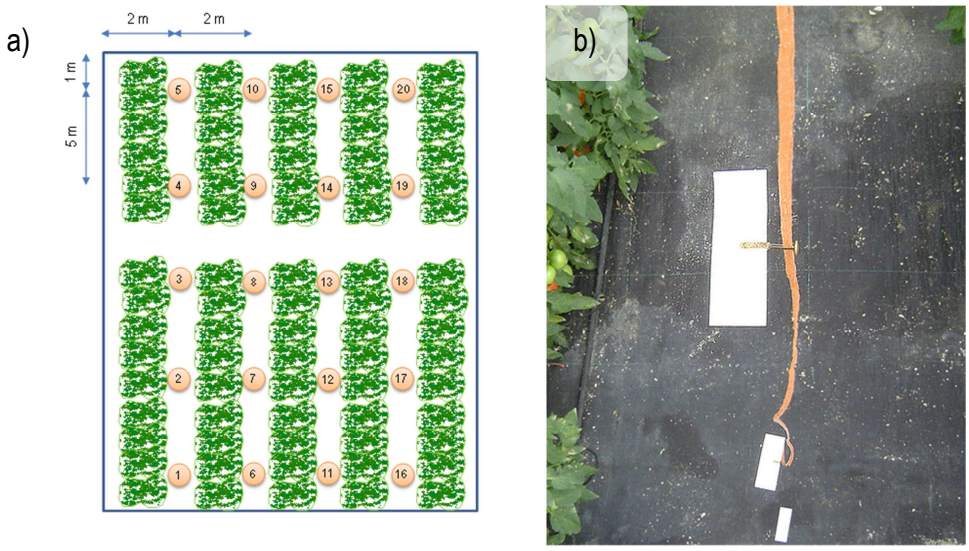

Figura 19: a) Esquema de la ubicación de los puntos seleccionados para muestrear en los pasillos del invernadero. b) resultado final de la colocación de los colectores artificiales en los pasillos.

En total para un ensayo de nebulización se obtuvieron 228 muestras; 168 correspondientes a las obtenidas en plantas y 60 correspondientes a las posiciones entre las líneas (20 puntos por 3 alturas).

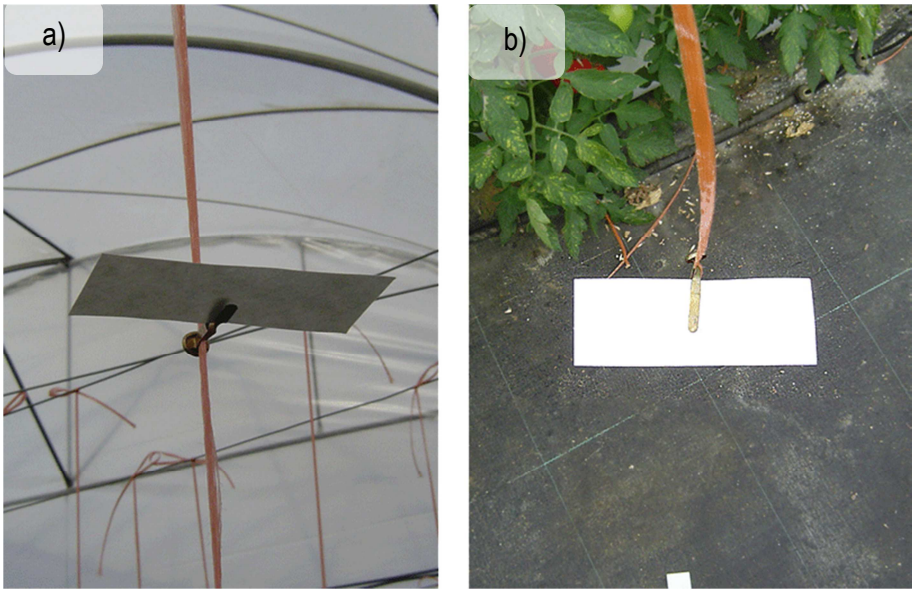

Figura 20: Colocación de los colectores artificiales en un plano horizontal. a) vista inferior en la que se aprecia el giro de parte del clip. b) Vista superior en la que se aprecia la horizontalidad del colector.

Una vez efectuadas las pulverizaciones se procedió a la recogida de las muestras. Cada una de las tiras de papel se introdujo en una bolsa hermética con autocierre marcada previamente en con un código alfanumérico que permitía identificar y clasificar la muestra (Figura 21).

Tabla 3: Nomenclatura empleada en la rotulación de las bolsas empleadas para recoger los colectores situados en plantas. El código índica parejas de plantas de la 1 a la 6.

Bloque 1 (Tratamientos)		Bloque 2 (Repetición)	Bloque 3 (Posición)		
			Altura	Profundidad	En hoja
P	Pistola hidráulica	**P1**	**A** (suelo)	**1** (Exterior)	**H** (Haz)
B	Barra vertical con boquilla	**P2**			
A	abanico	**P3**	**B**	**2** (Interior)	
B	Barra vertical con boquilla	**P4**			
C	cónica	**P5**	**C**	**3** (Interior)	**E** (Envés)
N	Nebulización	**P6**			
			D	**4** (Exterior)	

Los códigos se componen de 3 bloques, el primero indica el tratamiento que se realiza, el segundo bloque indica la pareja de plantas de donde se extrajo la muestra y el último bloque indica la posición en la planta y en la hoja. Esta codificación es válida para las muestras recogidas sobre plantas (Tabla 3). Por ejemplo, el código BA

P2 B3H indicaría una muestra recogida de un tratamiento con barras verticales y boquillas en abanico, de la pareja de plantas 2, a la altura B, en la posición 3 y del envés de la hoja.

Este sistema de identificación es válido sólo para las muestras obtenidas en las plantas, para las muestras obtenidas de los pasillos del invernadero el sistema de identificación cambia. Es también un sistema alfanumérico que se compone de tres bloques, el primero indica que corresponde a un tratamiento de nebulización, el segundo indica el punto en el que se colocó la muestra y el tercer bloque indica la altura. Una muestra colocada en un pasillo de nebulización en el punto 16 a una altura de 2 m se identifica como N 16 2 (Tabla 4).

Tabla 4: Nomenclatura empleada en la rotulación de las bolsas empleadas para recoger los colectores situados en los pasillos para los tratamientos de nebulización.

Bloque 1 (Tratamiento)		Bloque 2 (Punto)	Bloque 3 (Altura)
N	Nebulización	**1** al **20**	**0** (suelo) **1** (a 1 m) **2** (a 2 m)

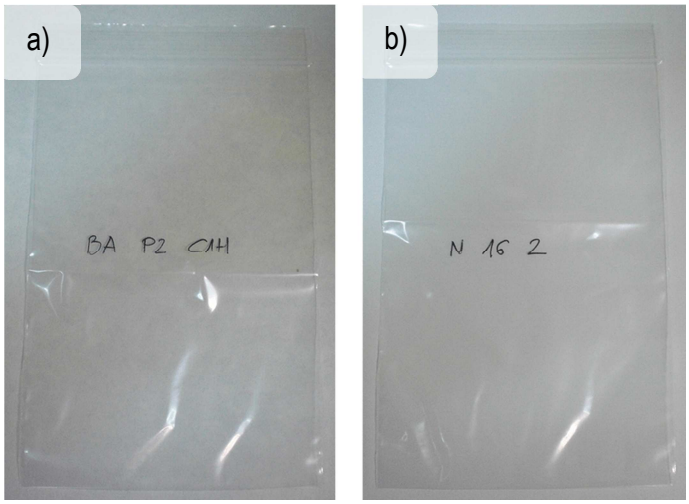

Figura 21: Bolsas con autocierre empleadas para almacenar y lavar las muestras recolectadas en campo. a) detalle de la codificación empleada para las muestras colocadas en plantas. b) detalle de la codificación empleada para las muestras colocadas en los pasillos de nebulización.

Las bolsas se llevaban preparadas en el orden secuencial de la recolección de las tiras de papel de filtro en el momento de esta, lo cual permitía la sistematización de la tarea que evitaba olvidar muestras en las plantas. Estas se recolectaban en orden, se metían en su correspondiente bolsa y a su vez las bolsas con muestras se introducían en bolsas de mayores dimensiones etiquetadas con la fecha de realización del ensayo y la repetición a la que correspondían, posteriormente las bolsas que contenían repeticiones completas se depositaron en un recipiente opaco para su posterior análisis en el laboratorio. La recogida de las muestras se facilitaba

transportando el recipiente en un carrito con una plataforma horizontal en la que se transportaban las bolsas para las muestras y para las repeticiones.

3.3.2. Condiciones de los ensayos

Se realizaron ensayos en dos estados fenológicos distintos con el objetivo de comparar dos momentos concretos del cultivo dado que los tratamientos fitosanitarios se realizan a lo largo de todo el ciclo de cultivo. Con lo cual la información obtenida al realizar ensayos en diferentes estadios es mayor.

A continuación se describirán todos los detalles implicados en la ejecución en campo de los ensayos, de forma resumida se pueden ver las condiciones de aplicación en la Tabla 5.

Se realizó un primer ensayo (Ensayo 1) el 23 de mayo de 2011 para los tratamientos hidráulicos y el 26 de mayo de 2011 para el tratamiento con el equipo de nebulización, a 69 y 72 días después del trasplante (DDT) respectivamente. Las plantas contaban con unos valores medios de altura y anchura de 1,53 m y 0,75 m respectivamente, el valor del índice de área foliar (LAI) fue 1,68.

Tabla 5: Condiciones teóricas de aplicación en los ensayos efectuados.

			Ensayo 1	Ensayo 2
Fecha		***P BA BC**	23/05/2011	1/07/2011
		***N**	26/05/2011	4/05/2011
DDT		***P BA BC**	69	78
		***N**	72	81
Altura			1,53	2,53
Anchura			0,75	0,8
LAI			1,68	3,34
***P**	Presión (kPa)		2000	2000
	V_t (m·s^{-1})		0,57	0,35
	Vol_t (L·ha)		1000	*1510*
***BA**	Presión (kPa)		600	600
	V_t (m·s^{-1})		1,17	0,7
	Vol_t(L·ha)		*945*	*1590,47*
***BC**	Presión (kPa)		600	600
	V_t (m·s^{-1})		1,17	0,7
	Vol_t (L·ha)		945	1590,47
***N**	P_{agua} (kPa)		300	300
	P_{aire} (kPa)		250	250
	Vol_t (L·ha^{-1})		1000	1510

*Abreviaturas: P; tratamientos con pistola, BA; tratamientos con barra vertical y boquillas de abanico, BC; tratamientos con barra vertical y boquillas cónicas, N: tratamientos de nebulización.

Posteriormente se realizó un segundo ensayo (Ensayo 2) en el mismo módulo que el ensayo 1 el 1 de junio de 2011 para los tratamientos pistola y barras verticales y el 4 de junio de 2011 para el de nebulización (78 y 81 DDT respectivamente). En esta

fecha las plantas contaban con una altura y anchura medias de 2,53 m y 0,8 m respetivamente, mientras que el LAI fue 3,66.

Se hicieron cuatro tratamientos con las distintas técnicas de aplicación mencionadas anteriormente, que consistieron en tres aplicaciones hidráulicas y una aplicación neumática:

Aplicación con pistola hidráulica

La aplicación mediante una pistola hidráulica (Figura 22a) equipada con dos boquillas de chorro plano doble (Novi-Fan) a una presión de 2000 kPa, el valor de presión es el habitual empleado por los agricultores de la zona. Por lo general los agricultores no trabajan a presiones más bajas de 2000 kPa.

Se pretendía aplicar una volumen de 1000 L ha^{-1} para el Ensayo 1 y de 1500 L ha^{-1} para el Ensayo 2. Los tratamientos con pistola son los que se consideran como referencia, se eligen estos volúmenes porque es el volumen que aplicaría un agricultor acorde al estado vegetal en el que se realizan los ensayos. Cada boquilla aportaba 1,52 L min^{-1} a la presión de trabajo.

Para poder tratar al volumen deseado fue necesario realizar pruebas antes de los tratamientos, a modo de ensayo, para adecuar la velocidad de desplazamiento del operario a la velocidad teórica de aplicación (0,57 y 0,35 m s^{-1} en el ensayo 1 y 2 respectivamente). Esto se consiguió conociendo la distancia a recorrer y obteniendo el tiempo necesario para recorrerla, después se hicieron varias prácticas sin el equipo en funcionamiento para recorrer el espacio necesario en el tiempo correspondiente. Una vez que se consiguió ajustar la velocidad de avance sin el equipo en marcha se hicieron los tratamientos definitivos.

Aplicación con barras verticales.

Se hicieron dos aplicaciones (Figura 22b) para cada ensayo (1 y 2) mediante un vehículo equipado con una barra de pulverización vertical dos configuraciones diferentes, una de las configuraciones consistió en la colocación cuatro boquillas de abanico (Albuz API 11003) con un ángulo de abertura de 110º, mientras en la otra configuración se pusieron boquillas de chorro cónico hueco (Teejet TXB 8003VK) con un ángulo de abertura de 80º. En las dos configuraciones la separación entre boquillas era de 0,5 m. Para el ensayo 1, al no tener la planta una altura suficiente para que la boquilla superior llegue a ella, la boquilla superior se inquinó 15º hacia abajo y la boquilla inferior se inclinaron 15º hacia arriba y el resto de las boquillas se inclinaron 15º hacia arriba, para favorecer la llegada de la nube a la masa vegetal (Figura 23 a y b). En el caso del ensayo todas las boquillas se inclinaron 15º hacia arriba. La inclinación de las boquillas ya ha sido empleada en trabajos anteriores (Braeckman et al, 2010 y Sánchez-Hermosilla et al, 2011).

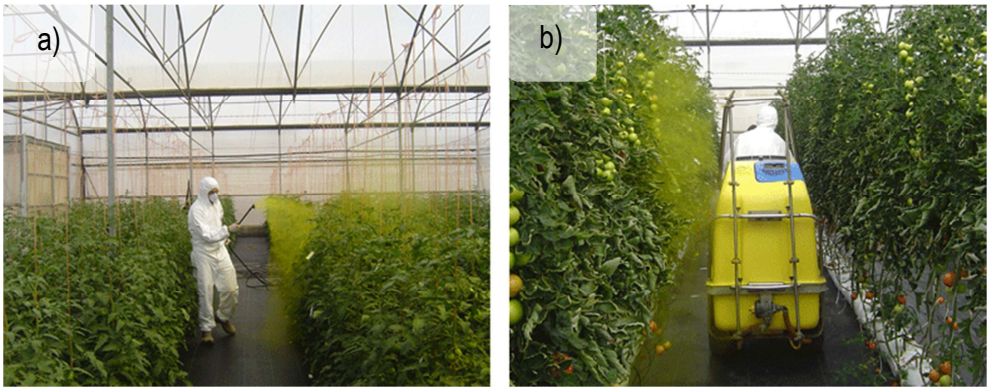

Figura 22: Aplicaciones. a) Aplicación con pistola hidráulica durante el ensayo 1. b) Aplicación con vehículo autopropulsado con barras verticales durante el ensayo 2.

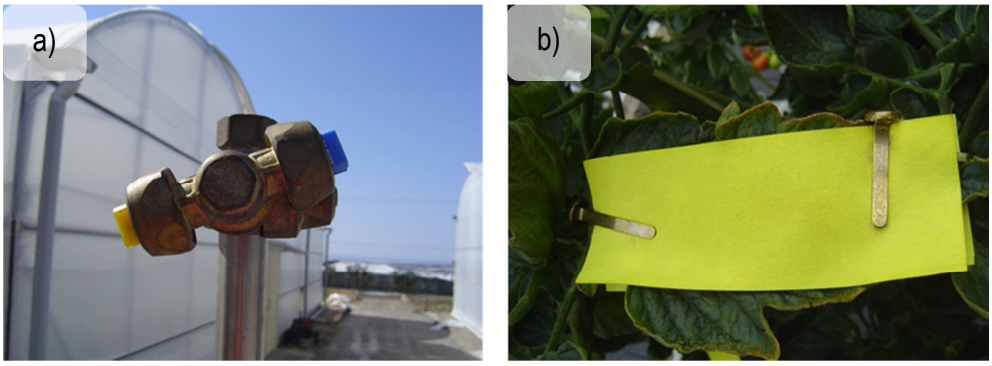

Figura 23: a) Detalle de la inclinación de las boquillas en la barra vertical. b) detalle de un colector tras realizar una aplicación con barras verticales.

Las aplicaciones se realizaron a 600 kPa para los dos tipos de boquillas y distribuyendo un volumen de 1000 L ha^{-1} y de 1500 L ha^{-1}, para el ensayo 1 y 2 respectivamente. Se aplicó el mismo volumen que con pistola para poder hacer una comparación correcta entre equipos. El caudal de las boquillas es 6,68 L min^{-1} para los dos tipos de boquillas, de tal forma que con un sencillo cálculo es posible conocer la velocidad de desplazamiento del vehículo para aplicar la dosis deseada, para el ensayo 1 la velocidad teórica de desplazamiento fue 1,17 m s^{-1} mientras que en el ensayo 2 fue de 0,7 m s^{-1}.

Para poder realizar las aplicaciones con el vehículo autopropulsado a 2 volúmenes diferentes, el vehículo se debía desplazar a 2 velocidades distintas, puesto que el caudal y la presión permanecieron constantes (Tabla 5). Para regular las dos velocidades se realizó una prueba fijando la profundidad del pedal de aceleración en el punto adecuado para cada una de ellas. De esta forma se aseguró que la velocidad fuese relativamente constante.

En las aplicaciones con las barras verticales la separación entre las boquillas y la masa vegetal se estableció en torno a 0,4 m, según como recomienda Nuyttens et al. (2004) para tratamientos con barra vertical en cultivos de tomate.

En todos los ensayos las líneas fueron pulverizadas por ambos lados, siguiendo la práctica habitual de los agricultores de la zona. Después de los tratamientos con pistola y barras verticales fue necesario esperar un tiempo suficiente para que los colectores estuvieran secos antes de introducirlos en las bolsas.

Tanto en los tratamientos con pistola como en barras verticales se tomaron datos suficientes para calcular la velocidad real de avance. Para ello se marcó en los puntos donde empezaba y acababa el tratamiento para medir la distancia entre estos con una cinta métrica. Mientras se realizaba el tratamiento se midió el tiempo de duración de este con cronómetro para estimar la velocidad real.

Nebulización.

Los tratamientos con nebulización se llevaron a cabo con una dosis de 1000 L ha^{-1} para el ensayo 1 y de 1500 L ha^{-1} para el ensayo 2. El control de la aplicación se hizo por tiempos, conociendo el gasto total del sistema y su marco de colocación. Las aplicaciones se hicieron a una presión de 300 y 250 kPa para sistema hidráulico y neumático respectivamente.

Antes de realizar la aplicación de los tratamientos con nebulización hubo que tener varios aspectos en cuenta. Los tratamientos se hicieron a una alta humedad relativa con el fin de mejorar la deposición del caldo y dificultar la evaporación del mismo, ya que el objetivo es que la niebla moje el cultivo.

Para el tratamiento se cerraron las ventanas laterales y cenitales (Figura 24a), previamente se prepararon los tanques de aplicación, uno con una solución de Tartracina y otro con agua. Posteriormente se puso en marcha el sistema aspirando el del tanque de agua hasta que las tuberías estuvieran cargadas y luego hubo que esperar a elevar la humedad relativa dentro del módulo hasta valores cercanos al 85-90% (Figura 24b), para ello fue necesario un tiempo de aproximadamente 45 minutos. Cuando se consiguió una alta humedad relativa se cambió a la aspiración al tanque de trazador. El tiempo de aplicación se comenzó a contabilizar cuando por las boquillas empezó a salir una nube de color amarillo. Los tiempos empleados para las aplicaciones fueron 11,30 min y 17 min para el ensayo 1 y 2 respectivamente.

Al finalizar la aplicación se esperó a que la nube se depositara antes de abrir de nuevo las ventanas. Cuando los colectores estuvieron secos se recogieron y se metieron en las bolsas de plástico. Una vez que los colectores estaban recogidos se conectó otra vez la nebulización con agua para limpiar las tuberías.

Todos los tratamientos se aplicaron con Tartracina a una concentración de 10 g L^{-1}. La preparación del caldo se realizaba in situ disolviendo el colorante en agua a partir de bolsas preparadas en laboratorio.

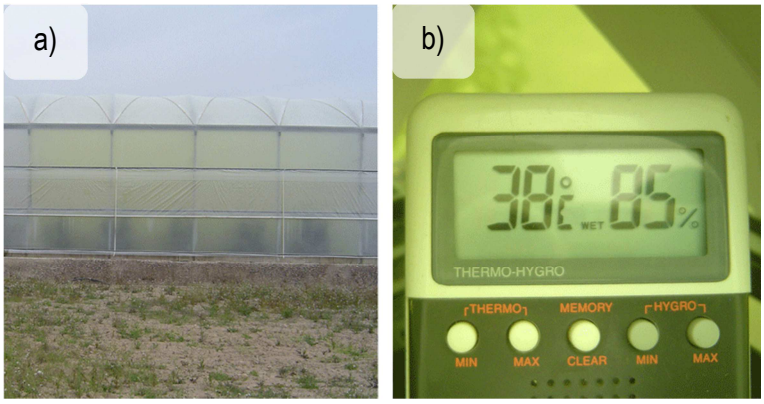

Figura 24: a) Tratamiento de nebulización con las ventanas cenitales y laterales cerradas durante el ensayo 1. b) Detalle de la alta humedad relativa durante el tratamiento de nebulización.

Después de cada tratamiento se recogía en un bote una muestra de la concentración real aplicada (Figura 25). Cada bote se identificaba con la fecha del tratamiento y un código: P (Pistola), BA (boquillas en abanico), BC (boquillas cónicas), N (Nebulización).

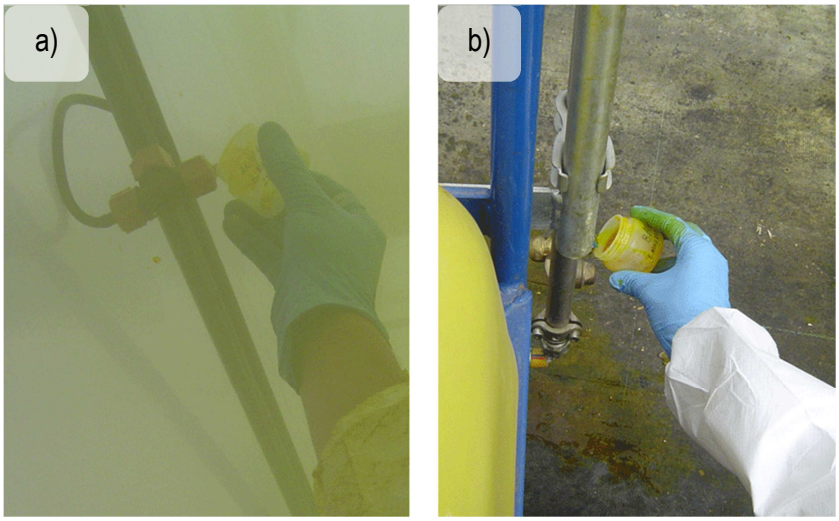

Figura 25: Recogida de muestras de la concentración real aplicada. a) Tratamiento de nebulización. b) Tratamiento con barras verticales.

3.4. Equipos y metodología empelados en laboratorio

A continuación se explica todo el procedimiento y la metodología seguida para el análisis de las muestras obtenidas en campo.

3.4.2. Cuantificación del colorante

La cuantificación del colorante en cada una de las muestras se realizará mediante espectrofotometría de absorción ultravioleta-visible.

3.4.2.1. Espectrofotómetro y software

La medida de los espectros de absorbancia de cada una de las muestras se ha realizado mediante un espectrofotómetro UV-Visible Helios Gamma Zeta Thermoespectronic, de haz doble cuyas características más importantes se destacan a continuación:

- Rango de lectura: 190-1100 nm.
- Ancho de banda: 2 nm.
- Precisión: 1 nm.

El espectrofotómetro se gestiona mediante el software Vision Pro, que permite ajustar los diferentes parámetros de funcionamiento (velocidad de escaneo, intervalo de lectura, rango de lectura, etc.), así como el mantenimiento y tratamiento de los espectros de absorbancia obtenidos.

El espectrofotómetro se configuró para medir cada 0,5 nm en el intervalo de longidudes de onda comprendido entre 400-600 nm y a una velocidad de barrido de 600 nm s^{-1}. Debido a que el barrido proporcionaba medidas más estables a la longitud de onda deseada.

3.3.2.2. Técnica de cuantificación y fundamentos

La cuantificación de sustancias mediante espectrofotometría ultravioleta-visible, se basa en la aplicación de la ley de Beer-Lambert: "la cantidad de luz absorbida por una sustancia es función exponencial de su concentración y del paso óptico de la radiación".

Se define la transmitancia (T) como la relación entre la intensidad de la luz que incide en una muestra (I_0) y la transmitida (I), de tal manera que:

$$T = \frac{I}{I_0} = e^{-kbc}$$

Dónde,

k= constante.

b= paso óptico de la cubeta de lectura.

c= concentración de la sustancia.

A partir de la tansmitancia (T) se obtiene el valor de la absorbancia (A), según la expresión:

$$A = -\log T = kbc$$

La absorbancia (A) es el valor que normalmente se utiliza para la cuantificación de sustancias, ya que se e establece una relación lineal entre la absorbancia y la concentración. La mayor parte de las sustancias cumplen esta relación lineal en un determinado intervalo de concentraciones. Fuera de él, experimentan desviaciones positivas o negativas. Por ello, es necesario realizar una calibración para diferentes grados de concentración.

3.4.2.3. Recta de calibrado

Es necesario conocer la recta de calibrado de la Tartracina, es decir, la relación lineal que ese establece entre la absorbancia y la concentración. De esta forma se podrá determinar la concentración de cada una de las muestras, así como determinar el rango de concentraciones donde se cumple la ley de Beer-Lambert.

La recta de calibrado se calculará a la misma longitud de onda con la que luego se analizarán las muestras, en este caso a 425,5 nm, que es la longitud de onda donde la absorbancia es máxima y más estable para la Tartracina (Sánchez-Hermosilla et al., 2008).

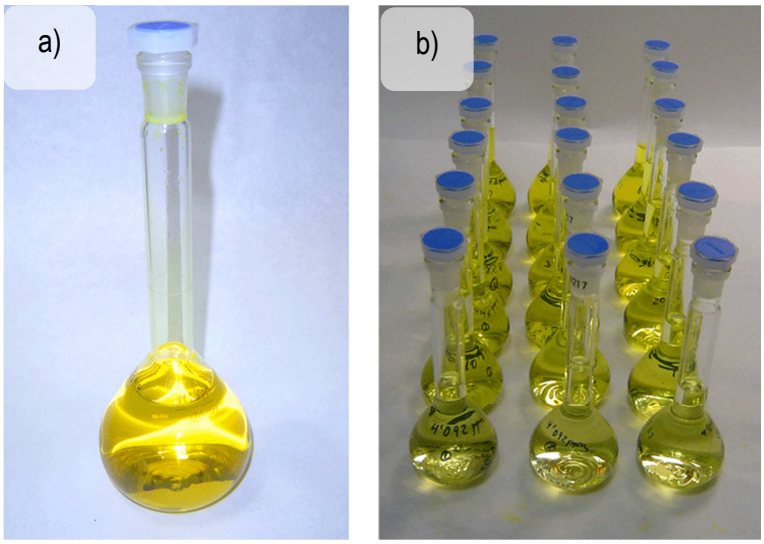

Figura 26: Soluciones empleadas para la confección de la recta de calibrado. a) Solución madre. b) Repeticiones.

Para el cálculo de la recta de calibrado se preparó una disolución madre de 200 ml con una concentración conocida, aproximadamente 100 ppm (Figura 26). A partir de la cual se han obtenido seis diluciones con un incremento de aproximadamente 10 ppm entre ellas, realizando tres repeticiones de cada una de ellas, de las cuales se midió su absorbancia con cubetas de 1 cm de paso de luz en el espectrofotómetro (Figura 26).

Al disponer de tres repeticiones para cada una de las diluciones procedió a calcular el coeficiente de variación (C.V.), el cual indicó que valores aceptar y cales no, rechazando aquellos valores con C.V. superior al 5%. También se rechazaron los puntos que no estaban alineados por entender que a partir de esas concentraciones comenzaba a perder linealidad la recta. Se tomó como límite de cuantificación el valor correspondiente al punto inferior de la recta de calibrado.

3.4.3. Tratamiento de muestras

Una vez realizados los ensayos de campo se procedió a procesar todas las muestras y a su análisis en laboratorio.

El procedimiento para analizar las muestras consistió en el lavado de los colectores de papel de filtro con 25 ml de agua destilada. El agua se aplicó con un dosificador automático en la misma bolsa con autocierre que contenía el colector, cerrándola y manteniéndolo durante un tiempo de lavado de 60 minutos. Sánchez-Hermosilla et al. (2011) también emplearon esta metodología para cuantificar la deposición de Tartracina en aplicaciones sobre colectores de papel de filtro colocados en plantas de tomate.

Transcurrido el tiempo de lavado se procedió a llenar las cubetas antes de introducirlas en el espectrofotómetro. Para llenar las cubetas se utilizó una pipeta graduada de 5 ml y las cubetas se ordenaron en coordenadas en bandejas de corcho con la misma disposición que ocuparían los colectores en la planta (Figura 27).

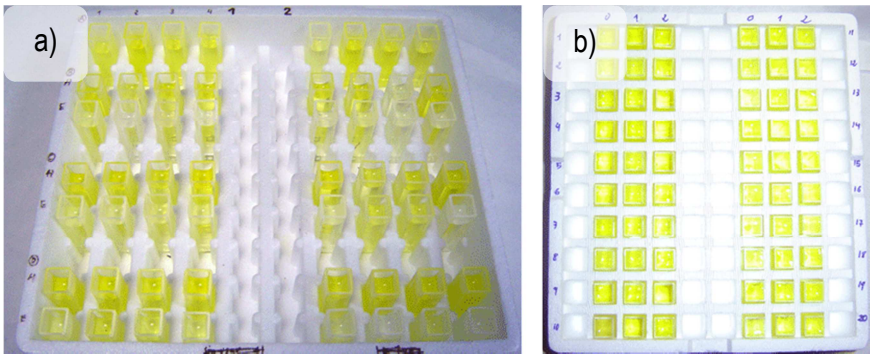

Figura 27: Preparación de las cubetas con las soluciones obtenidas por el lavado de las muestras obtenidas en cambo. a) Muestras obtenidas de plantas. b) Muestras obtenidas de pasillos de nebulización.

Las absorbancia de las muestras se midió a 425,5 nm en modo barrido, pero antes de introducir de hacer el barrido se hizo una lectura previa de cada muestra, si la absorbancia de la muestra estaba fuera del rango de lectura de la recta de calibrado, esta se diluía. La dilución consistió en sacar 1 ml de la cubeta e introducirlo

en un matraz aforado de 25 ml, por último, el matraz se enrasó y se introdujo la nueva solución en una cubeta nueva para medir la absorbancia de la muestra. Una vez obtenida la lectura del espectrofotómetro se corrigió para obtener la concentración original del punto muestreado.

En total se realizaron 732 lecturas para cada ensayo, lo que hace un total de 1464 lecturas para todo el experimento.

3.4.4. Tratamiento de datos

Para poder realizar una comparación de todos los tratamientos, se normalizaron los datos respecto la concentración y el volumen real que se aplicó en cada tratamiento. Como se ha dicho anteriormente para conocer la concentración real de la aplicación de cada tratamiento se tomó una muestra de esta al finalizar el mismo y para conocer el volumen real aplicado se contabilizó el tiempo de aplicación de cada tratamiento.

Los datos se refirieron a los tratamientos efectuados con pistola, para ello se obtuvo un factor de corrección combinado a partir de los factores de corrección obtenidos para las concentraciones y los volúmenes. Este factor de corrección combinado se calcula como la relación entre la concentración aplicada en el tratamiento para el cual se está calculando la corrección y el tratamiento con pistola por la relación entre el volumen real aplicado para el tratamiento para el cual se está calculando la corrección y el volumen real aplicado en el tratamiento con pistola.

$$FC = \frac{V_i}{V_p} \cdot \frac{[T]_i}{[T]_p}$$

Donde;

V_i= Volumen real aplicado en el tratamiento i.

V_p= Volumen real aplicado en el tratamiento de pistola.

$[T]$= concentración real de Tartracina aplicada en el tratamiento i.

$[T]$= Concentración real de Tartracina aplicada en el tratamiento con pistola.

Una vez obtenido el factor de corrección de cada tratamiento los datos se dividieron por el factor correspondiente.

Los datos obtenidos en ppm a través de los datos de absorbancia obtenidos en el espectrofotómetro y la recta de calibrado son expresados en µg cm^{-2}. El

procesado de los datos se ha hecho con Microsoft Excel v14.0, una vez obtenidos los datos se introdujeron en el software estadístico IBM SPSS Statictics v20.0.

No se dieron las condiciones necesarias de normalidad y homocedasticidad de los datos para poner aplicar ANOVA, tampoco fue posible realizar ninguna transformación que permitiera el uso de ella, por lo que se recurrió al uso de la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para analizar los datos de deposición con un nivel de significancia del 95%

Los datos de deposición en los pasillos del tratamiento de nebulización han sido expresados gráficamente por interpolación de puntos mediante el software Surfer v10.0.

4. Resultados y discusión

4. Resultados y Discusión

4.1. Condiciones reales de aplicación

4.1.1. Volúmenes aplicados

Las condiciones reales de aplicación varían ligeramente respecto a las teóricas (Tabla 5), debido a que la combinación de los diferentes elementos seleccionados no siempre se ajustan a la perfección a las condiciones establecidas pero si quedan muy próximas. Las condiciones reales de aplicación se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6: Tabla resumen de las condiciones reales de aplicación en los ensayos de campo.

Equipo de aplicación		Ensayo 1	Ensayo 2
P*	Presión (kPa)	2100	2040
	V_{media} ($m \cdot s^{-1}$)	0,56	0,33
	Vol ($L \cdot ha^{-1}$)	932,28	1515,87
	Q ($L \cdot min^{-1}$)**	3,14	3,04
BC*	Presión (kPa)	600	587
	V_{media} ($m \cdot s^{-1}$)	1,16	0,66
	Vol ($L \cdot ha^{-1}$)	956,5	1617,28
	Q ($L \cdot min^{-1}$)***	6,68	6,45
BA*	Presión (kPa)	600	576
	V_{media} ($m \cdot s^{-1}$)	1,06	0,65
	Vol ($L \cdot ha^{-1}$)	1050,88	1607,99
	Q ($L \cdot min^{-1}$)***	6,68	6,23
N*	P_{agua} (kPa)	300	300
	P_{aire} (kPa)	250	250
	Vol ($L \cdot ha^{-1}$)	994,63	1509,62
	Q ($L \cdot min^{-1}$)****	2,12	2,12

*P: Pistola hidráulica; BC: Barra vertical equipada con boquillas de chorro cónico; BA: Barra vertical equipada con boquillas de chorro en abanico plano; N: Nebulización. ** Caudal para 2 boquillas. *** Caudal para 4 Boquillas. ****Caudal para 36 boquillas.

La velocidad de aplicación varía levemente con respecto a la teórica, lo cual hace que las tasas de aplicación no se ajusten a la perfección con las estipuladas, pero esta variación no supera el ±7% en la mayor parte de los casos, excepto en el ensayo 2 donde la aplicación real es superior al 10% debido a que la combinación de boquillas no permitía ajustarse mejor a las condiciones teóricas.

4.1.2. Concentración aplicada

Al igual que con los volúmenes aplicados realmente no se aplica la concentración estipulada como teórica. Debido a errores en el pesaje del colorante, a los restos que quedan en la bolsa donde se transporta, y a los restos de líquido que quedan en el sistema de tuberías y bomba de los equipos, la concentración del caldo que sale por las boquillas no siempre es la misma que la teórica (Tabla 7). Debido a ello es necesario calcular un coeficiente corrector para normalizar los datos obtenidos y poder realizar una comparación de los tratamientos (Tabla 7).

En general todas las aplicaciones difieren poco del valor teórico (10 g L^{-1}), estas variaciones no van más allá del ±10%, excepto en el ensayo 1 de barra vertical con boquillas cónicas, superior al 10%, que fue el que primero se realizó con el vehículo autopropulsado y se pudo ver influenciada la concentración con por restos de agua de lavado en el interior del sistema hidráulico.

Los factores de corrección (Tabla 7) se obtuvieron tomando como patrón de comparación las aplicaciones efectuadas con pistola hidráulica para los dos ensayos, obteniendo dos factores de normalización, respecto a la concentración el volumen, y un factor común que engloba a los dos anteriores. El factor obtenido se divide por los valores obtenidos en laboratorio para normalizarlos.

Tabla 7: Concentraciones y tasas de aplicación medidas en los ensayos de campo. Factores de normalización.

Ensayo 1				
Equipo	**P**	**BC**	**BA**	**N**
Concentración (g·L^{-1})	9,92	8,71	9,91	9,43
Volúmenes (L·ha^{-1})	932,27	956,49	1050,88	994,63
Factor normalización 1500 L·ha^{-1}	*1,00*	*1,03*	*1,13*	*1,07*
Factor normalización 9,92 g·L^{-1}	*1,00*	*0,88*	*1,00*	*0,95*
Factor normalización común	***1,00***	***0,90***	***1,13***	***1,02***
Ensayo 2				
Equipo	**P**	**BC**	**BA**	**N**
Concentración (g·L^{-1})	9,73	9,24	10,04	10,42
Volúmenes (L·ha^{-1})	1515,87	1607,98	1617,27	1509,62
Factor normalización 1500 L·ha^{-1}	*1,00*	*1,06*	*1,07*	*1,00*
Factor normalización 9,73 g·L^{-1}	*1,00*	*0,95*	*1,03*	*1,07*
Factor normalización común	***1,00***	***1,01***	***1,10***	***1,07***

4.2. Recta de calibrado

La concentración de la disolución madre fue de 106,1 ppm. Se obtuvo una recta de calibrado con ecuación $y = 0{,}041x$ y un coeficiente de regresión de $R^2 = 0{,}993$, el cual se considera un buen ajuste por lo la recta es válida para cuantificar la deposición obtenida en los colectores artificiales. En la Tabla 8 se muestran los resultados detallados utilizados para construir la recta calibrado (Figura 28).

Tabla 8: Datos para la elaboración de la recta de calibrado.

Concentración (ppm)	0,26	4,09	10,23	20,46	30,12	40,92
R1*	0,0076	0,1971	0,4652	0,8923	1,2215	1,5986
R2*	0,0077	0,1888	0,4549	0,9226	1,2513	1,6048
R3*	0,0076	0,1895	0,4653	0,9350	1,2157	1,6193
Media	0,0076	0,1918	0,4618	0,9166	1,2295	1,6076
C.V. (%)	1,0631	2,3953	1,2905	2,3978	1,5554	0,6617

*Absorbancias medidas a 425,5 nm.

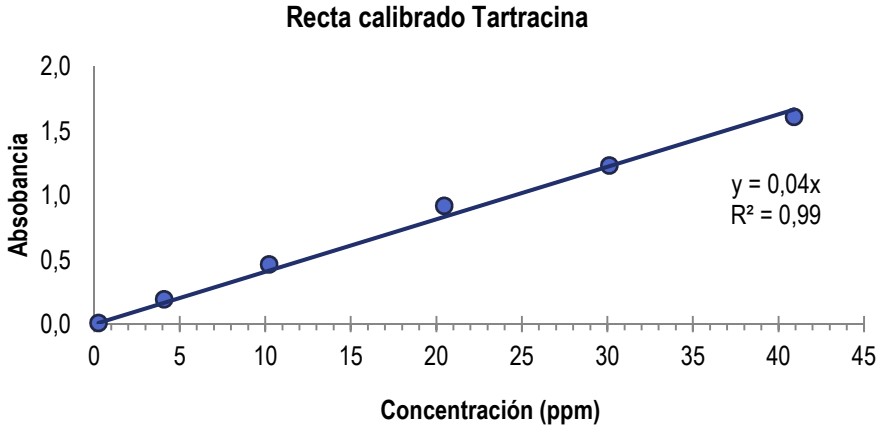

Figura 28: Representación gráfica de la recta de calibrado empleada para cuantificar la deposición en los ensayos.

4.3. Deposición en la masa vegetal y pérdidas en el suelo

4.3.1. Deposición en la masa vegetal

La Tabla 9 muestra los resultados correspondientes a la deposición media en la masa vegetal y las pérdidas en el suelo, así como sus respectivos coeficientes de variación (CV) de los dos ensayos realizados. De forma gráfica se pueden ver los

resultados obtenidos para la deposición media en la planta y las perdidas en el suelo en la Figura 29.

Los valores de deposición media en la masa vegetal obtenidos con la pistola pulverizadora son significativamente inferiores a los que se han obtenido mediante las aplicaciones con barra vertical en ambos ensayos (Tabla 9). La pistola ha originado una deposición en el ensayo 1 un 32,15% y un 38,08% inferior a la obtenida con la barra vertical equipada con boquillas cónicas y de abanico respectivamente. En el ensayo 2 las diferencias entre pistola pulverizadora y barra vertical son aún más amplias, la deposición de la pistola en el ensayo 2 ha sido un 51,29% y 55,87% inferior a la que se ha obtenido con boquillas cónicas y de abanico respectivamente.

Las deposiciones obtenidas con las dos configuraciones de la barra vertical (boquillas de abanico y boquillas de chorro cónico) no presentan diferencias significativas en los dos ensayos para los dos tipos de boquillas ensayadas. Sin embargo, la media obtenida con las boquillas de abanico es un 9,59% (ensayo 1) y un 10,38% (ensayo 2) superior a la que se ha obtenido con boquillas cónicas. Por otra parte, la uniformidad de aplicación con boquillas de abanico y cónicas ha sido muy similar en los dos ensayos como puede observarse en la Tabla 9 que muestran que el coeficiente de variación para ambos ensayos varía entre el 43-47%.

Sánchez-Hermosilla et al. (2011a) obtuvieron resultados similares en la comparación de boquillas de inyección de aire y de abanico, utilizaron una carretilla con barras verticales arrastrada por un operario. No encontraron diferencias entre las boquillas de inyección de aire y abanico pero estas sí presentaron diferencias con la pistola pulverizadora. Braeckman et al. (2010) ensayaron boquillas cónicas de 80º de apertura y de abanico de 110º de apertura montadas sobre barras verticales y efectuaron pulverizaciones en condiciones similares a las del ensayo 1 en un cultivo de tomate, los resultados obtenidos están de acuerdo con los que se presentan, pues no encontraron tampoco diferencias significativas en la deposición en la masa vegetal entre las boquillas cónicas y de abanico. Estos resultados también están de acuerdo con los obtenidos por Braeckman et al. (2009), que utilizaron barras verticales equipadas con boquillas cónicas y de abanico con diferentes tasas de aplicación y presiones de trabajo para tratar plantas de hiedra cultivadas en macetas colgantes, no encontraron diferencias en la deposición para las boquillas de abanico y cónicas en las diferentes tasas de aplicación y presiones ensayadas.

En cuanto a la deposición obtenida con el equipo de nebulización hay que decir que esta presenta diferencias significativas con el resto de los equipos y que estas diferencias son considerables en ambos ensayos. En el ensayo 1 la deposición obtenida con el equipo de nebulización ha sido aproximadamente 4,25 veces inferior a la obtenida con la pistola pulverizadora y entre 6,28 y 6,88 veces inferior a la

obtenida en los ensayos con la barra vertical (Figura 29a). Por otra parte, en el ensayo 2 la diferencia se reduce levemente ya que la deposición del equipo de nebulización es 2,5 veces inferior a la de la pistola pulverizadora, y entre 5 y 6 veces menor que en los ensayos realizados con la barra vertical (Figura 29b).

Respecto a la calidad de la pulverización, el CV de la pistola de pulverización es superior al obtenido en las aplicaciones efectuadas con barras verticales en los dos estadios vegetales, lo cual indica que la pulverización de la pistola es menos uniforme (Tabla 9). En la aplicación con boquillas de abanico se obtiene el menor CV de los cuatro tratamientos en los dos ensayos, aunque varía poco respecto a la aplicación con boquillas cónicas. Las aplicaciones con el sistema de nebulización obtienen un CV superior al 50% en los dos ensayos, por lo que esta aplicación fue menos uniforme que las efectuadas con barras pulverizadoras.

Tabla 9: Medias y coeficientes de variación (C.V.) de la deposición en la masa vegetal por unidad de superficie de colector y pérdidas en el suelo.

	Ensayo 1				Ensayo 2			
	Deposición en la cubierta vegetal		Pérdidas en el suelo		Deposición en la cubierta vegetal		Pérdidas en el suelo	
Equipo	media ($\mu g \cdot cm^{-2}$)	CV (%)	media ($\mu g \cdot cm^{-2}$)	CV (%)	media ($\mu g \cdot cm^{-2}$)	CV (%)	media ($\mu g \cdot cm^{-2}$)	CV (%)
P	14,86a	66,41	23,64a	87,25	19,05a	63,89	37,70a	60,45
BC	21,90b	46,65	19,22a	46,71	39,11b	44,36	26,74a	60,13
BA	24,00b	43,57	21,71a	56,11	43,17b	43,75	29,77a	40,30
N	3,49c	56,79	5,86b	53,78	7,84c	59,91	13,04b	59,49

* Medias en la misma columna con la misma letra indica que no existen diferencias significativas (P<0,05; Test de Kruskal-Wallis).

4.3.2. Pérdidas en el suelo

En lo que respecta a las pérdidas de caldo en el suelo no se han encontrado diferencias significativas ni en el ensayo 1 ni en el 2 entre las aplicaciones con boquillas cónicas, boquillas de abanico y pistola pulverizadora, aunque la media de la aplicación mediante pistola si ha sido superior numéricamente que las otras dos aplicaciones (Tabla 9). Concretamente para el ensayo 1 las pérdidas medias en el suelo son un 18,70% y un 8,16% menores para las aplicaciones con boquillas cónicas y de abanico respectivamente. Para el ensayo 2 esta diferencia entre las medias se incrementa de tal forma que las pérdidas son un 29,07% inferiores para la aplicación con boquillas cónicas y un 21,03% menores para las boquillas de abanico.

En cuanto al equipo de nebulización se obtienen diferencias significativas en los dos estadios comparado con los otros tres métodos de aplicación (Tabla 9). Estas diferencias indican que las pérdidas en el suelo originadas por el equipo de

nebulización son considerablemente inferiores ya que son un 75,21% y un 65,41% menores que los obtenidos con la pistola pulverizadora en el ensayo 1 y 2 respectivamente. En relación a la aplicación con barras verticales, la reducción respecto a las boquillas cónicas es de 69,51% (ensayo 1) y 51,26% (ensayo 2), mientras que para las cónicas es de 73,01% y 56,20% para el ensayo 1 y el ensayo 2 respectivamente. Es importante destacar las pérdidas que han contabilizado son las que se producen justo por debajo de la planta. Al tratarse de una técnica que pulveriza todo el volumen del invernadero, también se producen importantes pérdidas en los espacios entre líneas de cultivo, algo que no se produce con el resto de técnicas de aplicación.

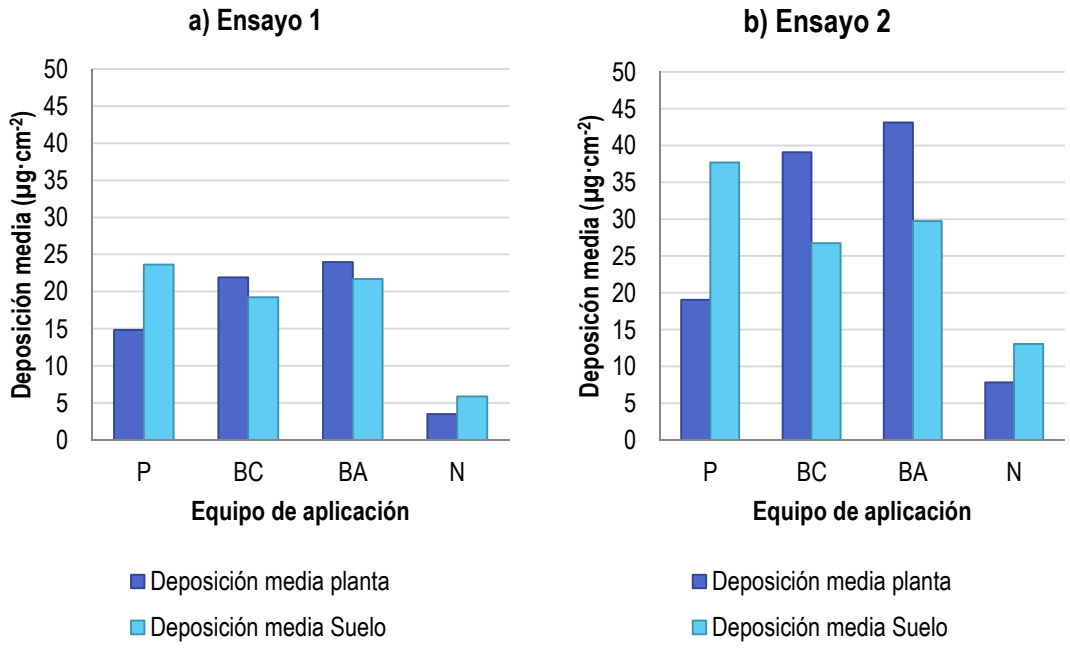

Figura 29: Deposición media obtenida en la masa vegetal y pérdidas en el suelo en las aplicaciones realizadas.

4.3.3. Volumen recuperado

La Figura 30 muestra el porcentaje de volumen recuperado en la masa vegetal con respecto al total aplicado en los dos ensayos efectuados. Analizando el dato correspondiente al volumen recuperado en la masa vegetal (Figura 30) se puede observar que las boquillas de abanico son las que mayor volumen depositan en la masa vegetal (43,65% y 90,63% para el ensayo 1 y 2 respectivamente), seguidas de las boquillas cónicas y de la pistola pulverizadora. Sánchez-Hermosilla et al. (2011a) también encontraron altas tasas de recuperación en la aplicación, con valores próximos al 90%, con barras verticales montando boquillas de abanico de 110º y pulverizando sobre un cultivo de tomate en invernadero con una masa vegetal similar a la encontrada en el ensayo 2.

En cuanto al equipo de nebulización, la tasa de recuperación presenta resultados mediocres en relación a los otros equipos ya que en el ensayo 1 se recuperó en la planta sólo el 6,35% que no supone ni una décima parte del volumen de caldo aplicado a la planta. El ensayo 2 sigue en la misma línea recuperándose el 16,46% que no es ni la quinta parte del volumen aplicado. Estas tasas de recuperación tan bajas son debidas a que se trata de una técnica de aplicación que distribuye el caldo en todo el vlolumen del invernadero, haya o no vegetación. De ahí que se recupere mayor volumen cuando la vegetación está más desarrollada (ensayo 2).

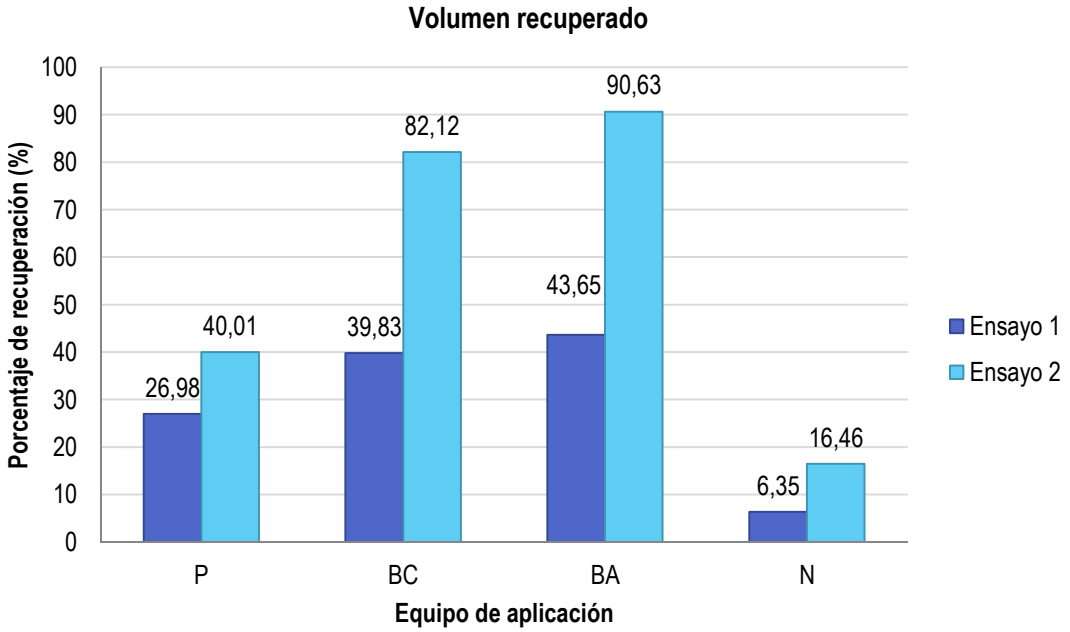

Figura 30: Volumen recuperado en los colectores situados en el haz y el envés de las hojas expresado en tanto por ciento respecto al total aplicado.

4.4. Deposición por alturas

Las Figura 31 y Figura 32 muestran la deposición obtenida según las diferentes alturas y los diferentes equipos de aplicación. En el ensayo 1, atendiendo a la deposición por alturas la aplicación con pistola pulverizadora no presenta diferencias entre alturas, al igual que la aplicación con el equipo de nebulización (Figura 31). En la aplicación con boquillas cónicas la deposición en la altura media (C) no presenta diferencias significativas con la deposición en la altura inferior (B) y superior (D), sin embargo la deposición entre la altura B y D si presentan diferencias significativas, de tal forma que la deposición en la altura D es un 66,08% que la que se ha obtenido en la altura B.

La aplicación con boquillas de abanico del ensayo 1 presenta diferencias significativas en la deposición en las tres alturas evaluadas, de tal manera que la deposición se va incrementando a medida que aumenta la altura de muestreo (Figura 31), de B a C se incrementa un 70,96% y de C a D un 33,28%. No se han encontrado diferencias significativas entre las aplicaciones con boquillas cónicas abanico y cónicas para las alturas B y C, en cambio, si hay diferencias significativas en la altura D para la deposición entre las boquillas de abanico (32,88 µg cm^{-2}) y las boquillas cónicas (27,27 µg cm^{-2}), que suponen una diferencia del 17,06% en favor de las boquillas de abanico. Además, la deposición obtenida en la altura D de las boquillas de abanico representa la mayor deposición entre alturas de todo el ensayo 1.

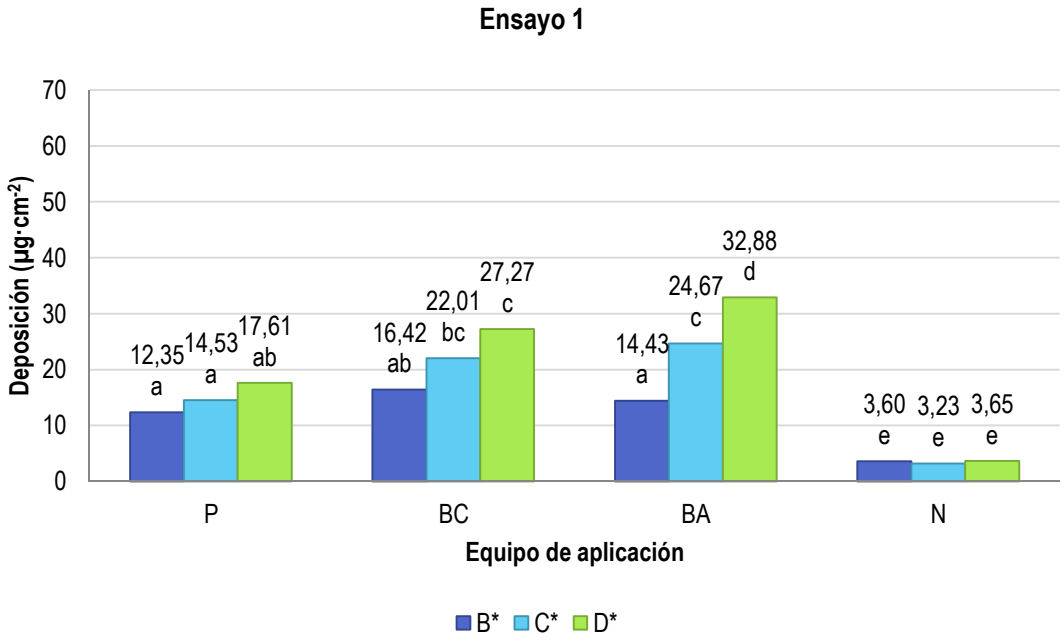

Figura 31: Deposición media en tres alturas sobre la planta, expresadas como la suma de la deposición en el haz y el envés en cada altura. * Alturas: B; baja, C; media, D; alta. Barras con la misma letra indica que no existen diferencias significativas (P<0,05; Test de Kruskal-Wallis).

Aunque no presenten diferencias significativas en algunos casos, numéricamente las aplicaciones pistola y barras verticales del ensayo 1 siguen el mismo patrón, como se puede ver gráficamente en la (Figura 31), la deposición se va a aumentando a medida que se incrementa la altura de muestreo. Esto no ocurre así en el caso de la aplicación con el equipo de nebulización donde la deposición se mantiene casi constante.

La aplicación con nebulización ha sido la que peores resultados ha obtenido en las tres alturas del ensayo 1, presentando diferencias con el resto de los tratamientos que obtuvieron una deposición entre 3,80 y 10,20 veces superior (dependiendo de la altura que se considere) a la obtenida con el equipo de

nebulización. Entre alturas no se encontraron diferencias entre las tres alturas del tratamiento de nebulización (Figura 31), encontrándose la deposición obtenida entre 3,23 µg cm^{-2} (en la altura C) y 3,65 µg cm^{-2} (en la altura D).

En el ensayo 2, la deposición originada por la aplicación con pistola no presenta diferencias entre alturas, sin embargo presenta diferencias respecto de las aplicaciones realizadas con la barra vertical y a su vez estas presentan diferencias con la aplicación hecha con el equipo de nebulización (Figura 32).

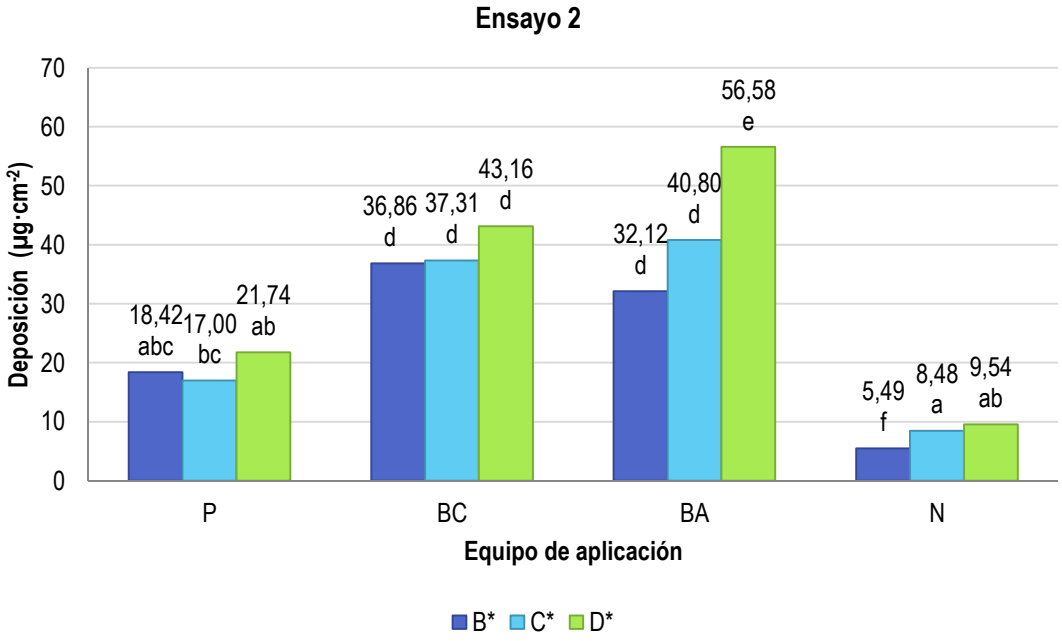

Figura 32: Deposición media en tres alturas sobre la planta, expresadas como la suma de la deposición en el haz y el envés en cada altura. * Alturas: B; baja, C; media, D; alta. Barras con la misma letra indica que no existen diferencias significativas (P<0,05; Test de Kruskal-Wallis).

Las aplicaciones realizadas con boquillas cónicas no presentan diferencias estadísticas entre ellas en las tres alturas muestreadas. Sin embargo, en la aplicación con boquillas de abanico no se han encontrado diferencias significativas entre las alturas B (32,12 µg cm^{-2}) y C (40,80 µg cm^{-2}), pero sí se han encontrado diferencias entre las dos alturas anteriores y D (56,58 µg cm^{-2}) como se observa en la Figura 32. Sin atender a los coeficientes de variación podría decirse que las aplicaciones realizadas con las boquillas cónicas del ensayo 2 son más uniformes porque no se han visto diferencias entre alturas, pero a pesar de esto las boquillas de abanico obtienen mayor deposición en la parte alta de la planta (56,58 µg cm^{-2}) con diferencias significativas para esa misma altura que con las boquillas cónicas (43,16 µg cm^{-2}). Por otro lado, no se aprecian diferencias significativas entre las aplicaciones con boquillas cónicas y de abanico para las alturas B y C.

Al igual que ocurre en el ensayo 1 los peores resultados de deposición se obtienen con la aplicación mediante el equipo de nebulización que presenta diferencias con las aplicaciones realizadas con barras verticales (Figura 32), mientras que el valor de deposición de la altura C de equipo de nebulización (8,48 µg cm^{-2}) no presenta diferencias significativas con la deposición obtenida con la pistola pulverizadora en las alturas B y D, además la deposición de la altura D del equipo de nebulización (9,54 µg cm^{-2}) no difiere de la deposición obtenida con pistola para las tres alturas de muestreo. Las deposiciones originadas por las aplicaciones con barras verticales son de 3,00 a 10,30 veces mayores a las conseguidas con el equipo de nebulización.

En la Tabla 10 se muestran los CV de las alturas obtenidos para las cuatro aplicaciones realizadas. Se observa que en el ensayo 1, para las boquillas de abanico y cónicas los CV son muy similares para la altura B (47,23% y 47,46% respectivamente. Para las alturas C y D se observan diferencias en favor de las boquillas de abanico obtienen CV menores a los que obtienen las boquillas cónicas. La aplicación con pistola pulverizadora obtiene CV muy elevados en relación a los obtenidos por las barras verticales en las alturas C (83,28%) y D (70,84%).

Tabla 10: Coeficiente de variación (%) en las alturas obtenidos en las aplicaciones realizadas en el ensayo 1.

Ensayo 1			
Equipo	**B***	**C***	**D***
P	83,28	70,84	48,58
BC	47,46	44,20	37,66
BA	47,23	30,77	22,58
N	58,05	47,45	63,22
Ensayo 2			
Equipo	**B***	**C***	**D***
P	86,50	60,01	42,97
BC	47,34	28,75	50,96
BA	42,96	41,55	30,73
N	61,67	55,20	52,92

*Alturas: baja (B), media (C), alta (D).

En el ensayo 2 las boquillas cónicas obtienen altos CV en las alturas C y D. Con las boquillas cónicas se obtienen CV entorno al 40% en las alturas B y C y en D algo inferiores, alrededor del 30%. En la aplicación con pistola ocurre de forma similar al ensayo 1, en la altura inferior y media el CV es muy elevado, 86,50% y 60,01% respectivamente Tabla 10).

El equipo de nebulización obtiene resultados mediocres en relación a las aplicaciones con barras pulverizadoras. En los dos ensayos y para todas las alturas la aplicación mediante la nebulización obtiene CV por encima del 50%, exceptuando la altura C del ensayo 1, como se puede ver en la Tabla 10. Estos resultados indican que la distribución del fitosanitario es poco uniforme. En el ensayo 1 la deposición en la parte alta del cultivo es la menos uniforme, esto puede deberse a que las hojas son jóvenes y están más erguidas que las hojas maduras por lo que se colocan en un plano paralelo a la dirección de la pulverización, mientras que las hojas del centro se colocan en un plano normal. En el ensayo el peor CV se obtiene en la parte baja del cultivo probablemente debido a que las hojas que están por encima actúen de "paraguas" y eviten que la nube se deposite uniformemente.

4.5. Deposición en el haz y el envés

La distinción entre el haz y el envés se hace necesaria debido a que la mayor parte de las plagas que actualmente causan más daños económicos a los cultivos se localizan el envés de las hojas, por lo tanto interesa que, en la aplicación, llegue el máximo posible de caldo a la parte inferior de las hojas. Las Tabla 11 y Tabla 12 muestran la deposición media obtenida en la masa vegetal para el haz y el envés de los dos ensayos realizados.

Tabla 11: Valores medios y coeficientes de variación (C.V.) en la deposición en el haz y envés de las hojas en las aplicaciones del ensayo 1.

	Haz		Envés	
Equipo	Media ($\mu g \cdot m^{-2}$)*	C.V. (%)	Media ($\mu g \cdot m^{-2}$)*	C.V. (%)
P	12,13a	76,72	2,70a	182,77
BC	18,89b	52,05	3,01b	116,88
BA	20,48b	46,17	3,52b	108,36
N	3,16c	56,52	0,33a	143,27

* Medias en la misma columna con la misma letra indica que no existen diferencias significativas (P<0,05; Test de Kruskal-Wallis).

Las mayores deposiciones en el haz de las hojas se han obtenido mediante la aplicación con barra vertical equipada con boquillas de abanico (20,48 $\mu g\ cm^{-2}$ y 31,13 $\mu g\ cm^{-2}$ para el ensayo 1 y 2 respectivamente), aunque no presentan diferencias estadísticamente significativas con las aplicaciones realizadas con barra vertical equipada con boquillas de cónicas (18,89 $\mu g\ cm^{-2}$ y 28,27 $\mu g\ cm^{-2}$ para el ensayo 1 y 2 respectivamente). En ambos ensayos la pistola pulverizadora ha obtenido peor rendimiento, apreciándose diferencias significativas respecto a las las aplicaciones realizadas con barra vertical, ya que se depositó un 25,79% menos que

con las boquillas cónicas y un 40,77% menos que con las boquillas planas en el ensayo 1 (Figura 33a). En el ensayo 2 la pistola tuvo un 43,76% y un 48,92% menos de deposición que en las aplicaciones con boquillas cónicas y de abanico respectivamente. Estos resultados indican que ha medida que se incrementa la masa vegetal la pistola ofrece peores resultados en comparación con la barra pulverizadora.

Tabla 12: Valores medios y coeficientes de variación (C.V.) en la deposición en el haz y envés de las hojas en las aplicaciones del ensayo 2.

	Haz		Envés	
Equipo	Media (µg·m^{-2})*	C.V. (%)	Media (µg·m^{-2})*	C.V. (%)
P	15,90a	71,48	3,15a	79,84
BC	28,27b	53,80	10,84b	58,99
BA	31,13b	55,06	12,03b	67,66
N	6,69c	62,59	1,15c	84,12

* Medias en la misma columna con la misma letra indica que no existen diferencias significativas (P<0,05; Test de Kruskal-Wallis).

Como en los casos anteriores, las aplicaciones con el equipo de nebulización siguen siendo las que peores resultados ofrecen, la deposición en el haz es muy inferior al resto de las aplicaciones. En el haz de las hojas la deposición originada por la nebulización fue entre un 55% y un 75% inferior a la obtenida por la pistola pulverizadora y entre un 75% y un 85% menor que la que se consiguió con la barra vertical. En el envés las diferencias son más acusadas ya que la nebulización obtuvo una deposición entre un 65% y un 85% inferior a la de la pistola pulverizadora y un 90% menos que la deposición originada por las barras verticales (Figura 33).

Por lo que respecta a la deposición en el envés, todos los tratamientos realizados en los dos ensayos ofrecen deposiciones muy bajas que no superan los 3,6 µg cm^{-2} y los 12,1 µg cm^{-2} para el ensayo 1 y 2 respectivamente, como se puede ver en la Tabla 11 y la Tabla 12. Estos resultados concuerdan con los obtenidos el envés de las hojas de plantas de tomate por Sánchez-Hermosilla et al. (2011a y 2011b) en los que informan de que la deposición en el envés mes muy baja en relación a la que se obtiene en el haz.

Las aplicaciones en el envés con barras verticales no presentan diferencias significativas para los dos tipos de boquillas ensayadas en ninguno de los dos ensayos, aunque el valor medio de la de la deposición en las boquillas de abanico es mayor que el de las boquillas cónicas en ambos ensayos (Tabla 11 y Tabla 12). Por otra parte, estas si se diferencian de las aplicaciones con pistola que obtienen una deposición 11,48% y 30,37% (cónicas y abanico respectivamente) mayor en el

ensayo 1 (Figura 33a). En el ensayo 2 estas diferencias son mucho más amplias, de tal forma que las boquillas cónicas obtuvieron 3,44 veces más deposición que la pistola y las de abanico 3,82 veces más (Figura 33b).

Como en el haz, la nebulización ha obtenido valores muy bajos en envés, en el ensayo 1 podría hablarse de deposición nula ya que el valor medio es 0,33 µg cm^{-2}, en el ensayo 2 es algo superior 1,15 µg cm^{-2}, como se puede observar en la Tabla 11 y Tabla 12. Estos resultados presentan diferencias significativas con los otros tres tratamientos.

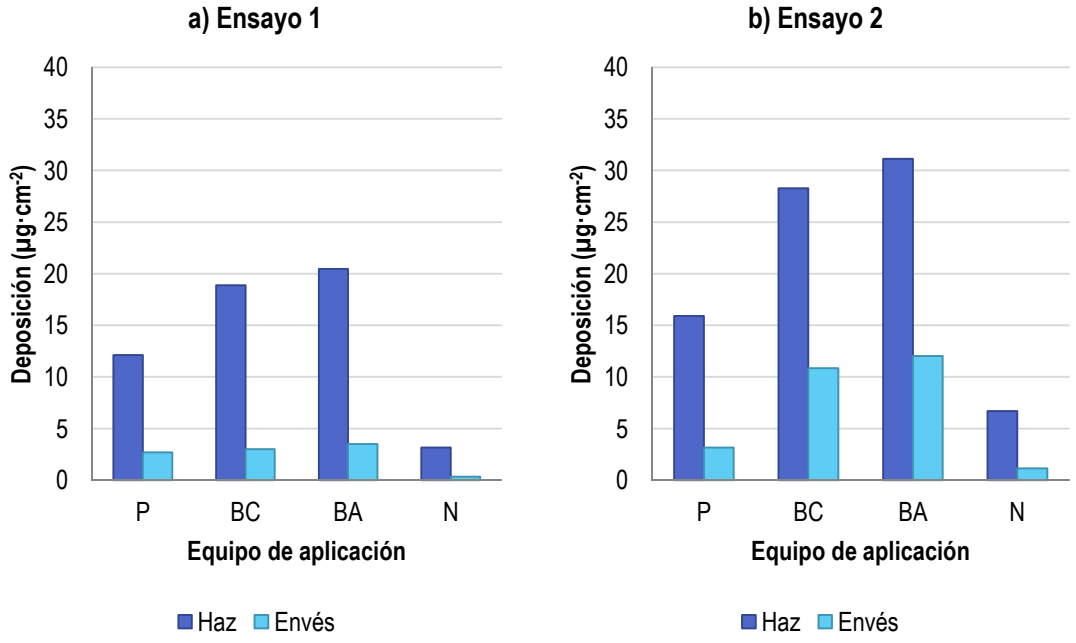

Figura 33: Deposición media obtenida en el haz y el envés de las hojas en las aplicaciones realizadas en los dos ensayos.

En lo referente a la uniformidad de la aplicación se obtienen valores similares entre las aplicaciones con barras verticales y nebulización para los dos ensayos, en cambio las aplicaciones con pistola son menos uniformes, esta falta de uniformidad podría atribuirse a la destreza del operario. Atendiendo a los CV del envés se puede ver una falta de uniformidad muy elevada ya que, especialmente en el ensayo 1 son muy elevados superando incluso el 100%. Sánchez-Hermosilla et al. (2011a y 2011b) ya han visto esta falta de uniformidad en el envés encontrando también CV superiores al 100%. En el ensayo 2 el CV es inferior para las cuatro aplicaciones con respecto al ensayo 1, aunque no deja de ser alto. Para valores de LAI bajos (ensayo 1) la aplicación que menor CV (108,36%) tiene es la efectuada con barra vertical equipada con boquillas de abanico, mientras que la menos uniforme es la aplicación con pistola pulverizadora (182,78%), esto puede ser debido a que el operario no mantiene el ángulo de inclinación constante durante toda la aplicación

y el chorro no incide de la misma manera en todas las hojas. En el ensayo 2 los CV de las aplicaciones con barras verticales son menores a los de las aplicaciones con pistola pulverizadora y equipo de nebulización. Para el ensayo 2, la aplicación menos uniforme en este caso es la que se realizó mediante el equipo de nebulización, donde se obtuvo un CV del 84,12%, el menor CV de las aplicaciones en el envés se ha obtenido con la barra vertical equipada con boquillas cónicas (58,99%).

4.6. Deposición en el interior y exterior de la masa vegetal

Las Tabla 13 y Tabla 14 muestran la deposición media obtenida diferenciando dos zonas, el exterior de la masa vegetal y el interior, sus respectivos CV, así como la relación entre la deposición entre el interior y el exterior, lo deseable en ella es que esta sea lo más próxima al 100% posible. De esta forma se puede analizar la capacidad de penetración de la población de gotas de los diferentes equipos.

Tabla 13: Valores medios de deposición en dos profundidades (interior y exterior) y coeficiente de variación (C.V.) en la masa vegetal en las aplicaciones realizadas en el ensayo 1.

	Media (µg·m^{-2})			C.V. (%)	
Equipo	Exterior	Interior	I/E (%)	Exterior	Interior
P	19,02a	10,64b	55,93	54,00	69,79
BC	26,85c	16,95a	53,13	36,33	48,00
BA	26,33c	21,66ac	82,25	46,72	45,14
N	3,40d	3,58d	105,24	56,25	57,89

*Medias con la misma letra indican que no existen diferencias significativas (P<0,05; Test de Kruskal-Wallis). ** I/E: Relación entre la deposición obtenida en el interior y el exterior de la masa vegetal.

Tabla 14: Valores medios de deposición en dos profundidades (interior y exterior) y coeficiente de variación (C.V.) en la masa vegetal en las aplicaciones realizadas en el ensayo 2.

	Media (µg·m^{-2})			C.V. (%)	
Equipo	Exterior	Interior	I/E (%)	Exterior	Interior
P	27,24a	10,87b	39,88	39,80	61,83
BC	44,00c	34,22c	77,78	49,42	27,51
BA	52,53d	33,80ac	64,35	35,05	42,28
N	8,40bc	7,27c	86,56	58,75	61,02

*Medias con la misma letra indican que no existen diferencias significativas (P<0,05; Test de Kruskal-Wallis). ** I/E: Relación entre la deposición obtenida en el interior y el exterior de la masa vegetal.

En el ensayo 1, la pistola de pulverización y las barras pulverizadoras equipadas con boquillas cónicas presentan diferencias significativas entre el exterior de la masa

vegetal y el interior, lo cual indica que las zona externa de la masa vegetal recibe mayor cantidad de caldo (Tabla 13), esto se debe a que estas zona son más cercanas al origen de la pulverización, en cambio, las deposición en las profundidades internas depende de la estructura de la planta, tipo de boquilla, velocidad de la población de gotas, VDM de las gotas, etc.

La aplicación con boquillas de abanico no presenta diferencias significativas entre la deposición originada en el exterior de la masa vegetal y el interior en el ensayo 1 (Tabla 13).

No se aprecian diferencias significativas en el ensayo 1 entre la deposición de la zona profundidad exterior entre los tratamientos con boquillas cónicas y de abanico, también ocurre así para la profundidad interior. En cambio, si hay diferencias estadísticamente significativas entre el exterior y el interior de la planta en las aplicaciones efectuadas con boquillas cónicas que indican menor penetración en la masa vegetal que las boquillas cónicas. La Tabla 13 muestra que la relación entre la deposición del interior y el exterior de la masa vegetal es del 63,13% que es inferior al 82,25% que se consiguió con las boquillas de abanico.

En el ensayo 2 se observa la misma tendencia que en el ensayo 1 para la pistola pulverizadora, se aprecian diferencias significativas entre el interior y el exterior de la cubierta vegetal. También se han encontrado diferencias significativas entre el interior y el exterior de la masa vegetal en la aplicación con boquillas de abanico (Tabla 14).

No se han observado diferencias significativas entre el interior y el exterior de la planta en la aplicación realizada con las boquillas cónicas. Sin embargo, en el exterior de la planta se aprecian diferencias significativas entre la aplicación con boquillas cónicas (44,00 µg cm^{-2}) y la aplicación con las boquillas de abanico (52,53 µg cm^{-2}), en favor de las últimas (Tabla 14). Las boquillas de abanico obtuvieron un 16,24% más de deposición en el exterior que las boquillas cónicas, aunque la relación entre el interior y el exterior fue del 64,35%. Por otro lado, en el interior de la planta no se aprecian diferencias en la deposición de las boquillas de abanico y cónicas como se puede ver en la Tabla 14.

Por otra parte, en las aplicaciones de nebulización no se han visto diferencias significativas entre el interior y el exterior de la masa vegetal en los dos ensayos, pero la deposición ha sido muy inferior a la del resto de las aplicaciones, exceptuando la deposición obtenida en el exterior del ensayo 2 de nebulización que no difiere de la obtenida en el interior con la pistola pulverizadora. La nebulización ha sido el equipo que mejor uniformidad ha tenido entre el interior y el exterior de la planta, la relación entre la deposición interior y exterior es de 105,24% y 86,56% para el ensayo 1 y 2 respectivamente (Tabla 13 y Tabla 14), pero esta mayor uniformidad no compensa los pobres resultados en la deposición. En el En el ensayo 1 el equipo de nebulización

ha obtenido una deposición un 80-90% inferior a la que se consiguió con la pulverización con barras verticales y un 70-80% inferior que con la pistola pulverizadora en las dos profundidades (Figura 34a). En el ensayo 2 la nebulización fue aproximadamente un 80% inferior a la conseguida con la aplicación con barras verticales en las dos profundidades (Figura 34b).

En general, la relación entre la cantidad de trazador depositado en los colectores situados en el interior y el exterior de la masa vegetal fue inferior en todas las aplicaciones del ensayo 2 (Tabla 13 y Tabla 14).

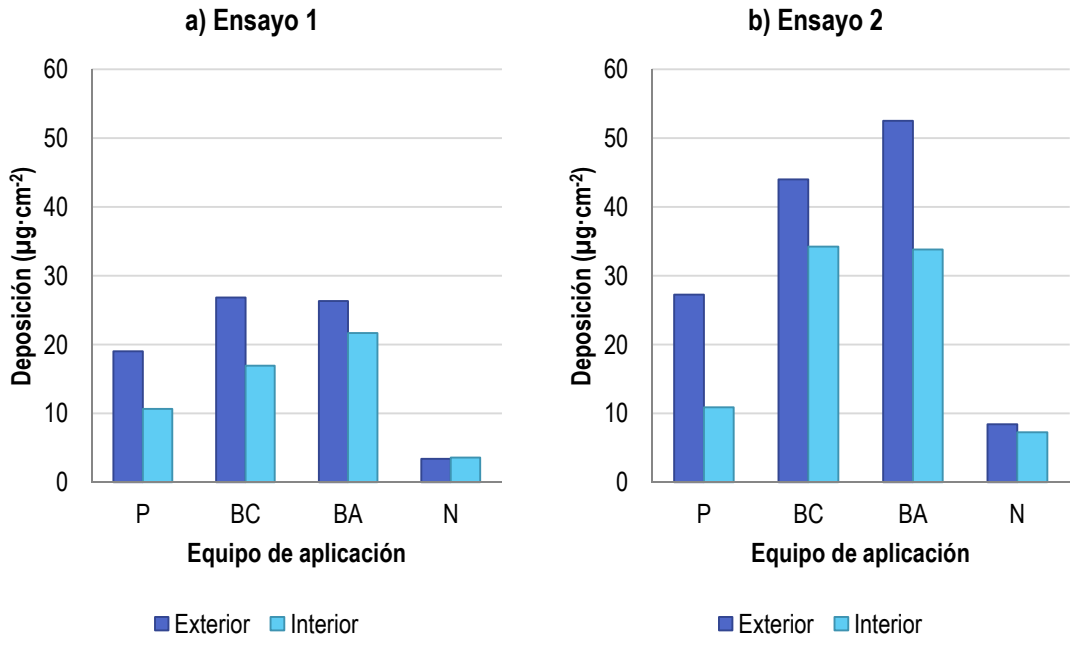

Figura 34: Deposición profundidades obtenida en las dos aplicaciones realizadas.

En lo referente a la uniformidad de distribución, la pistola obtiene el CV más elevado en el interior de la masa vegetal para los dos ensayos con valores que superan el 60%, lo que significa una mala distribución en el interior de la planta. Las boquillas de abanico obtuvieron CV similares tanto en el interior de la planta y el exterior en el ensayo 1, con valores de aproximadamente el 45%. En el ensayo 2 el CV en el interior de la planta con las boquillas de abanico es superior en relación con el obtenido en el interior (Tabla 13). En la aplicación con boquillas cónicas se obtienen valores inferiores de CV en el exterior de la planta en comparación con las boquillas de abanico y en el interior valores ligeramente superiores. Por el contrario, en el ensayo 2, las boquillas de abanico obtuvieron un CV menor que las cónicas en el exterior de la planta, mientras que fue mayor que el de las boquillas cónicas en el interior (Tabla 14).

Con respecto al equipo de nebulización se obtienen valores muy similares entre el interior y el exterior de la planta en los dos ensayos, y a su vez, estos valores son

similares entre ensayos ya que varían entre el 56% y el 61%. Obtienen valores altos de CV al igual que la pistola pulverizadora por lo que no presentan una buena uniformidad de distribución.

4.7. Pérdidas en los pasillos

La aplicación de productos fitosanitarios mediante un equipo de nebulización implica la necesidad de tratar todo el volumen de aire encerrado en el interior del invernadero a diferencia de los equipos hidráulicos que pulverizan el caldo directamente sobre el cultivo. Ello conlleva unas pérdidas que deben ser evaluadas.

La Tabla 15 muestra la deposición media obtenida a tres alturas en el eje central de los pasillos del invernadero y el CV correspondiente a cada media.

Tabla 15: Deposición media en altura obtenida en los pasillos situados entre las líneas de cultivo a las alturas de muestreo.

	Ensayo 1		Ensayo 2	
Punto*	Deposición media ($\mu g \cdot m^{-2}$)	C.V. (%)	Deposición media ($\mu g \cdot m^{-2}$)	C.V. (%)
0	6,92a	40,39	20,40a	33,38
1	9,23b	25,67	17,91a	25,41
2	9,06b	25,73	21,36a	25,13

* 0; nivel del suelo, 1; un metro sobre el suelo, 2; dos metros sobre el suelo. ** Medias en la misma columna con la misma letra indica que no existen diferencias significativas (P<0,05; Test de Kruskal-Wallis)

Según los resultados las pérdidas son significativamente inferiores en el suelo que a 1 y 2 m sobre el suelo en el ensayo 1. Las pérdidas en el suelo fueron un 25,03% y un 23,62% inferiores a las que se produjeron a 1 y 2 m respectivamente. Esta diferencia puede explicarse debido a el tamaño de las gotas originado es tan pequeño que quedan en suspensión y alcanzan el suelo en menor cantidad.

En el ensayo 2 las cantidades de trazador cuantificadas son similares en las diferentes alturas muestreadas. Esta diferencia respecto al ensayo 1 puede deberse a la mayor tasa de aplicación utilizada (1000 L ha^{-1} en el ensayo 1 y 1500 L ha^{-1} en el ensayo 2).

Como se puede observar las pérdidas que se producen en el suelo entre líneas de cultivo con esta técnica de aplicación son muy importantes. Para el ensayo 1 estos valores son del mismo orden de los cuantificados debajo de la masa vegetal (Tabla 9), mientras que en el ensayo 2 son aproximadamente un 50% superiores.

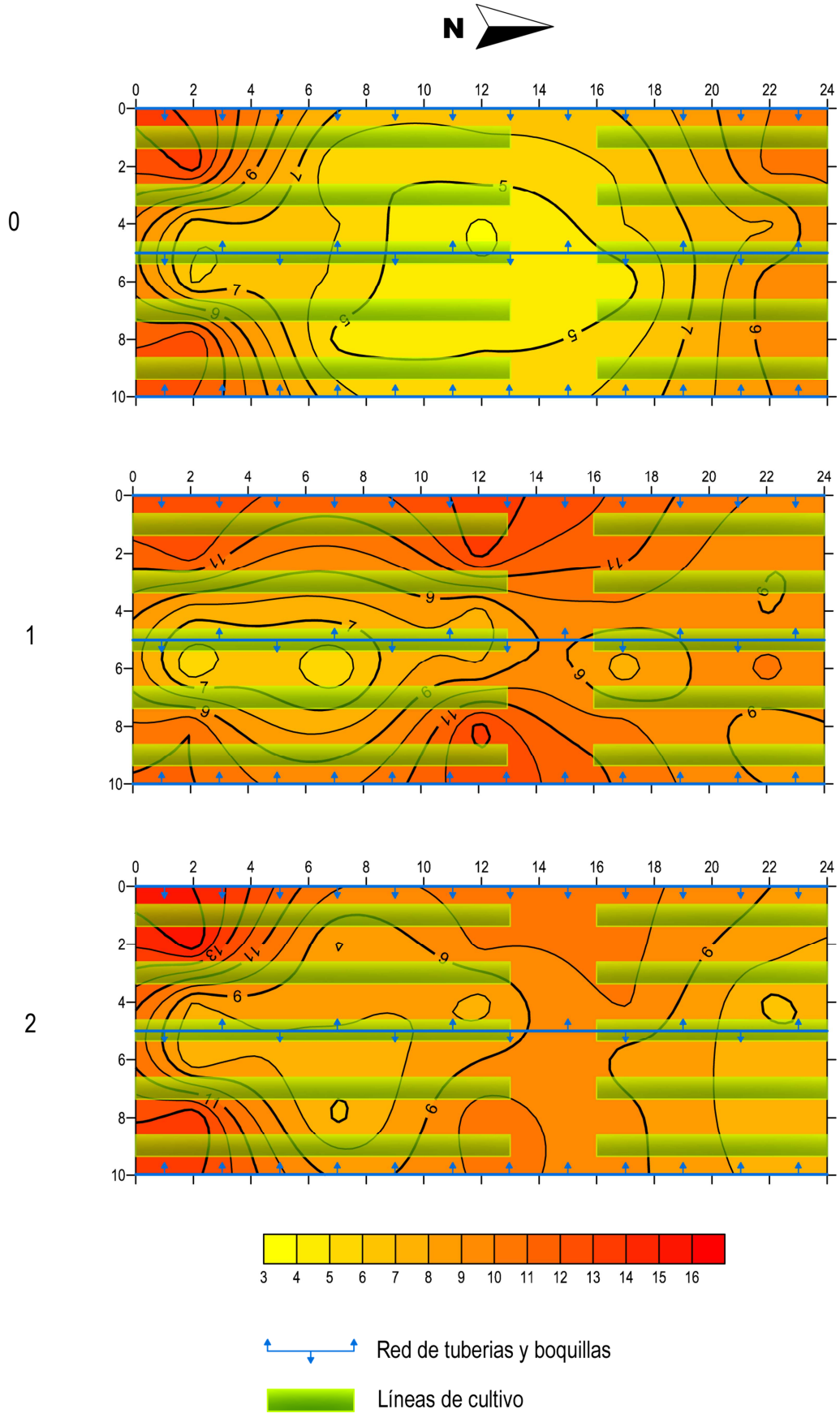

Figura 35: Curvas de isodeposición dentro del invernadero para el ensayo 1. *Las líneas unen puntos de igual deposición (µg cm^{-2}). **Alturas: 0; nivel del suelo, 1; a un metro sobre el suelo, 2; a dos metros sobre el suelo.

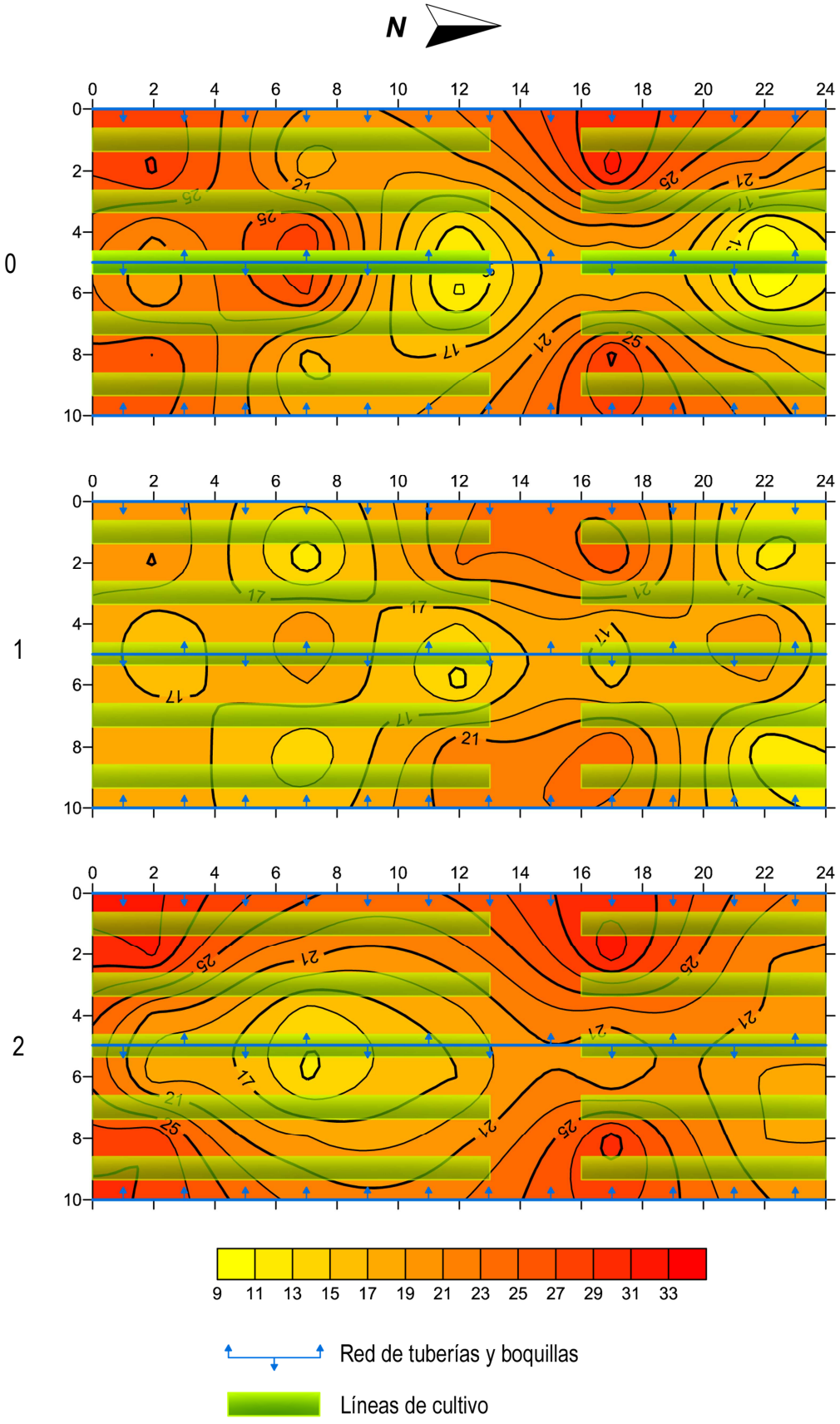

Figura 36: Curvas de isodeposición dentro del invernadero para el ensayo 1. *Las líneas unen puntos de igual deposición (µg cm-2). **Alturas: 0; nivel del suelo, 1; a un metro sobre el suelo, 2; a dos metros sobre el suelo.

Sin embargo, no se han visto diferencias entre las tres alturas de muestreo en la aplicación del ensayo 2, probablemente debido a que la tasa de aplicación (1500 L ha^{-1}) para que no se produjera evaporación en exceso y llegara el caldo a todas las alturas.

Con respeto a la uniformidad de las pérdidas, se obtienen CV muy similares, entorno al 25% para los dos tratamientos a 1 y 2 m sobre el suelo. Mientras que a nivel del suelo los CV son más elevados, en el ensayo 1 se encontró un CV del 40,39% que es mayor que el que se encontró en el ensayo 2.

Las Figura 35 y Figura 36 muestran las curvas de iso-deposición del trazador en el invernadero, la ubicación y anchura de las líneas de cultivo y la posición y orientación de las boquillas de pulverización.

Se puede observar que para el ensayo 1 la deposición en el suelo es inferior que en las otras dos alturas como se ha visto anteriormente. Existe una zona central donde la deposición es inferior a la que se aprecia en los extremos norte y sur del invernadero, esto puede ser debido a una mayor temperatura en la zona central del invernadero que contribuyó a que el agua se evaporara y a una mayor dilución del caldo en la niebla previa al tratamiento. Sólo hay que recordar que para saturar el ambiente fueron necesarios 45 min aplicando sólo agua, lo cual equivale a un volumen de 3975 L ha^{-1} casi 4 veces más que el volumen aplicado.

A un metro sobre el suelo (ensayo 1) se puede observar que en los laterales este y oeste la cantidad de trazador fue superior a la que se encuentra en la línea central. Puede ser explicado por la orientación de las boquillas, ya que en los laterales las boquillas están orientadas todas en la misma dirección y en el centro en direcciones alternativas. Por otra parte, se observa que en el los laterales del centro del invernadero la deposición mayor que en otros puntos del lateral, quizá debido a la influencia que pudiera ejercer la zona libre de cultivo. También se observa la línea central en con menor deposición en la zona sur del invernadero para una altura de 2 m y de la misma forma que en 1 m se intuye que en el pasillo central existe una zona de mayor deposición que en la línea central. Sur.

En el ensayo 2 se observa la de forma más clara línea central correspondiente que se veía en a 1 y 2 m del ensayo 1, la explicación puede ser la misma. Por otra parte, aunque en el análisis de los datos medios de la deposición a 1 m sobre el suelo indican que no hay diferencias significativas, el valor de esta media es inferior y también se observa a la vista de la figura que las curvas de isodeposición son inferiores a las que se encuentran a nivel del suelo y a 2 m sobre este. Este fenómeno puede ser explicado por la probabilidad de precipitar o evaporarse de las gotas, es decir, en el espectro de gotas habrá gotas que sean suficientemente grandes como para caer hasta cierta altura antes de evaporase o antes de precipitar. Entonces, está claro que la probabilidad de que caigan un mayor número de gotas que

precipiten sobre los colectores situados en el suelo es mayor porque por encima del suelo existe un volumen de aire que contiene una población de gotas que estén precipitando que no van a caer sobre los colectores situados a 1 m, de la misma forma se puede explicar con el caso de la evaporación, existe un volumen (entre 1 y 2) de aire en el cual se están evaporando gotas que pueden caer en los colectores situados a 2 m y no a 1 m.

Al igual que en el ensayo 1 en el ensayo 2 se pueden observar dos zonas situadas aproximadamente en la zona central del este y el oeste del invernadero y próxima a los pasillos, donde la deposición es más elevada que en el resto de zonas.

Realizar aplicaciones fitosanitarias con equipos de nebulización obliga a tratar todo el volumen encerrado en el interior del invernadero se producen pérdidas en los pasillos que no se producen con otros métodos que aplican el caldo directamente sobre el cultivo. Además, la necesidad de saturar el ambiente antes del tratamiento implica un gasto extra de agua, que en el presente trabajo asciende aproximadamente a 4000 $L\,ha^{-1}$ más el volumen propio de aplicación del tratamiento, por lo tanto el consumo de agua es muy elevado. Por otra parte, para incrementar la humedad hace falta cerrar el invernadero evitando la ventilación aumentando las probabilidades de ocasionar problemas en el cultivo de enfermedades de origen fúngico debida a la alta humedad y al tiempo prolongado de esta.

5. Conclusiones

5. Conclusiones

La utilización de un vehículo autopropulsado con barras verticales de pulverización ofreció mejores resultados de deposición media en la masa vegetal y mejor uniformidad en los dos estadios de la vegetación evaluados, que la utilización de una pistola pulverizadora, trabajando a la misma tasa de aplicación y a menor presión. No se encontraron diferencias entre la deposición media originada con boquillas cónicas y de abanico.

Las aplicaciones realizadas con barras verticales equipadas con boquillas de abanico plano obtuvieron mayor deposición en la parte alta de la planta que con el resto de técnicas en los dos estados vegetales evaluados.

Para los dos estados vegetales evaluados las pérdidas en el suelo de los tratamientos con barras verticales fue similar a la obtenida con la pistola de pulverización.

La deposición en el envés de las hojas ha sido muy pobre y poco uniforme en los dos ensayos realizados, sin embargo, la carretilla equipada con barras verticales fue la que mejores resultados ha producido, tanto en cantidad de trazador depositado como en uniformidad, en comparación con la pistola pulverizadora y la nebulización.

Las aplicaciones con barras verticales tienen mayor penetración en la masa vegetal que las aplicaciones realizadas con el equipo de nebulización y la pistola pulverizadora en los dos estados vegetales. El equipo de nebulización fue el que mejor relación tuvo entre la deposición del interior y el exterior de la masa vegetal, próxima al 100%.

En general, las pulverizaciones realizadas con la carretilla equipada con barras verticales fueron más uniformes que el resto de los equipos en todos los aspectos evaluados.

En lo referente al equipo de nebulización destacar los siguientes aspectos:

La aplicación mediante este sistema implica la necesidad de saturar el ambiente del invernadero antes de la aplicación, lo cual supone un importante gasto de agua. El gasto de agua del tratamiento de nebulización cuadriplica al del resto de los equipos, la mayor parte de esta agua se emplea en conseguir las condiciones adecuadas de aplicación. Este alto consumo hace necesario plantearse la viabilidad de este sistema donde los recursos hídricos son escasos.

La aplicación de fitosanitarios con el equipo de nebulización implica tratar todo el volumen de aire encerrado en el invernadero, produciéndose importantes

pérdidas en lugares donde no es necesario tratar, como los pasillos. Esto da lugar a que las tasas de recuperación sean muy bajas cuando el cultivo está poco desarrollado.

La deposición obtenida con el equipo de nebulización es muy deficiente en comparación con la pistola pulverizadora y las barras verticales. La deposición en el envés de las hojas es prácticamente nula en estadios vegetales avanzados.

6. Bibliografía

6. Bibliografía

AGROCOLOR. 2010. Continua expansión del control biológico en la campaña 2009/10. Boletín trimestral de agrocolor. 23:2-3

AGÜERA, L., JUSTICIA. L., GARZÓN, E., BARRANCO. P., y CABELLO. T. 1998. Caracterización de los equipos de control de plagas y enfermedades en invernaderos del sureste de España. Phytoma España. 104:14-22.

ARBEL, A., YEKETUELI, O. y BARAK, M. 1999. Performance of a fog system for cooling greenhouses. Journal of Agricultural Engineering Research. 72(2): 129-136.

BAKKER, J.C., ADAMS, S., BOULARD, T. y MONTERO, J.I. 2008. Innovate technologies for an efficient use of energy. Acta Horticulturae, 801(1); 49-62.

BALSARI, p., MARUCCO, P. y TAMAGNONE, M. 2005. A system to assess the mass balance of spray applied to tree corps. Trnsactions of the ASAE. 48(5): 1689-1694.

BALSARI, p., MARUCCO, P. y TAMAGNONE, M. 2007. A test bench for the classification of boom sprayers according to drift risk. Crop Protection. 26(10): 1482-1489.

BALSARI, P., MARUCCO, P., y OGGERO. G. 2002. Spray Applications in Italian Apple Orchards: Target Coverage, Ground Losses and Drift. ASAE Annual International Meeting, paper nº 02-1002; Chicago. Illinois, USA.

BODE, L.E., BUTLER, B.J. y GOERING, C.E. 1976. Spray drift and recovery as affected by spray thickener, nozzle type, and nozzle pressure. Transactions of the ASAE.

BRAEKMAN, P., FOQUÉ, D., VAN LABEKE, M.C., PIETERS, J.G. y NUYTTENS, D. 2009. Influence of spray application technique on spray deposition in greenhouse ivi pot plants grown on hanging shelves. HortScience. 44(7): 1921-1927.

BRAEKMAN, P., FOQUÉ, D., VAN LABEKE, M.C., PIETERS, J.G. y NUYTTENS, D. 2010. Effect of spray application technique on spray deposition in greenhouse strawberries and tomatoes. Pest Management Science. 66: 203-212.

BROWN, L., SOLTANI, N., SHROPSHIRE C., SPIESER H. y SIKKEMA P.H. 2007. Efficacy of four corn (Zea mays L.) herbicides wen applied with flat fan and air induction nozzles. Weed Biology and Management. 7: 55-61.

CABELLO, T. 1996. Utilización de pesticidas en cultivos en invernaderos del sur de España y análisis de los riesgos toxicológicos y medio ambientales. Phytoma España. 75: 11-19.

CÉSPEDES, A.J., GARCÍA, M.C., PÉREZ PARRA, J.J. y CUADRADO, I.M. 2009. Caracterización de la explotación hortícola protegida almeriense. Fundación para la investigación agraria para la provincia de Almería y Fundación Cajamar. 184 pp.

CROSS, J.V., MURRAY, R.A., RIDOUT, M.S., y WALKLATE, P.J. 1997. Quantification of spray deposits and their variability on apple trees. Aspects of Applied Biology. 48: 217-224.

CROSS. J.V., WALKJATE, P.J., MURRAY, R.A. y RICHARSDSON, G.M. 2001a. Spray deposits and losses in different sized apple trees from an axial fan orchard sprayer: 1. Effects of spray liquid flow rate. Crop Protection. 20: 13-30.

CROSS. J.V., WALKJATE, P.J., MURRAY, R.A. y RICHARSDSON, G.M. 2001b. Spray deposits and losses in different sized apple trees from an axial fan orchard sprayer: 2. Effects of spray liquid flow rate. Crop Protection. 20: 333-340.

CROSS. J.V., WALKJATE, P.J., MURRAY, R.A. y RICHARSDSON, G.M. 2003. Spray deposits and losses in different sized apple trees from an axial fan orchard sprayer: 3. Effects of air volumetric flow rate. Crop Protection. 22(2): 381-394.

CUNNINGHAM, G.P. y HARDEN, J. 1999. Sprayers to reduce spray volumes in mature citrus trees. Crop Protection. 18(4): 275-281.

DAY, W. y BAILEY B.J. 1999. Physical principles of microclimate modification. Greenhouses ecosystems (Stanhill G., Enoch H.Z., eds). Elsevier, Amsterdam. 71-97.

DE MOOR, A., VERGAUWE, G. y LANGENAKENS, J. 2002. Evaluation of chemical analysis of minerals for the assessment of spray deposits. Aspects of Applied Biology. 66: 409-420.

DERKSEN, R.C., FRANTZ, J., RANGER, C.M., LOCKE, J.C., ZHU, H. y KRAUSE, C.R. 2008. Comparing greenhouse handgun delivery to poinsettias by spray volume and quality. Transactions of the ASABE. 51(1): 27-33.

DERKSEN, R.C., RANGER, C.M., CAÑAS, L.A., LOCKE, L.C., ZHU, H. y KRAUSE, C.R. 2008. Evaluation of handgun and broadcast systems for spray deposition in greenhouse poinsettia canopies. Transactions of the ASABE. 53(1): 5-12.

EBERT, T.A., DERKSEN, R.C., DOWNER, R.A. y KRAUSE, C.R. 2003. Comparing greenhouse sprayers: the dose-transfer process. Pest Management Science. 60: 507-513.

ECPA. 2000. Guidelines on the sustainable use of crop protection products.

FAROOQ, M., y SALYANI, M. 2002. Spray penetration into the citrus tree canopy from two air-carrier sprayers. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers. 45(5): 1287-1293.

FOQUÉ, D. y NUYTTENS D. 2011a. Effect of air support and spray angle on coarse droplet sprays in ivy pot plants. Transactions of the ASAE. 54(2): 409-416.

FOQUÉ, D. y NUYTTENS D. 2011b. Effect of nozzle type and spray angle on spray deposition in ivy pot plants. Pest Management Science. 67: 199-208.

FOX, R.D., REICHARD, D.L. y BRAZEE, R.D. 1992. A video analysis system for measuring droplet motion. Applied Engineering in Agriculture. 8(2): 153-157.

FURNESS, P. A; 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 method. Crop protection 18(8): 639-644.

GARCÍA, C. 1996. Maquinaria para tratamientos fitosanitarios. Hortoinformación. 80: 42-47.

GARCÍA, M.L., MEDRANO, E., SÁNCHEZ-GUERRERO, M.C. y LORENZO, P. 2011. Climatic effects of two cooling systems in greenhouses in the Mediterranean area: External mobile shading and fog system. Biosystems Engineering. 108: 133-143.

GARZÓN, E., AGÜERA, I., CABELLO, T. y JUSTICIA. L. 1998. Eficiencia de la pulverización en cultivo de pimiento en invernadero tipo Almería. Boletín de Sanidad Vegetal, Plagas. 24: 857-866.

GARZÓN, E., LÓPEZ. L., SÁNCHEZ-HERMOSILLA. J., BARRANCO. P., AGÜERA. L., y CABELLO. T. 2000. Eficacia técnica de la aplicación de fitosanitarios con cañón atomizador. Vida Rural. 112: 44-48.

GIL, E., ESCOLÀ, A., ROSELL, J.R., PLANAS, S. y VAL, L. 2007. Variable rate application of plant protection products in vineyard using ultrasonic sensors. Crop protection. 26(8): 1287-1297.

HOFFMANN, W.C. y SALYANI, M. 1996. Spray deposition on citrus canopies under different meteorological conditions. American Society of Agricultural Engineers. 39(1): 17-22.

LANGENAKENS, J. VERGAUWE, G. y DE MOOR A,. 2002. Comparing hand-held spray guns and spray booms in lettuce crops in a greenhouse. Aspects of Applied Biology. 66:123-128

LEE, A.W., MILLER, P.C.H. y POWER, J.D. 2000. The application of pesticide sprays to tomato crops. Aspects of Applied Biology. 57: 383-390.

LILJEDAHL, L.A. y STRAIT, J. 1959. Spray deposits measured rapidly. Agricultural Engineering. 40(6): 322-335.

LÓPEZ, L., CASTILLO, J.E., FUENTES, M., PALOMAR, F., FERNÁNDEZ. E.J., VISERAS, J., y LÓPEZ, J. 1994. Caracterización de los sistemas de producción hortícola de invernaderos en la provincia de Almería. Almería: F.I.A.P.A. (Fundación para la investigación agraria en la provincia de Almería). I.F.A. (Instituto de Fomento de Andalucía).

MARQUEZ, L. 2002. Estudio de componentes de boquillas. Curso de aplicación de productor de fitosanitarios y minimización del impacto ambiental. IV curso de especialización, Lleida.

MECA, D., LÓPEZ, J.C., GÁZQUEZ, J.C., BAEZA, E., PÉREZ PARRA, J. y ZARAGOZA, G. 2007. A comparison of three diferent cooling systems in parral type greenhouses in Almería. Spanish Journal of Agricultural Research. 5(3): 285-292

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y RURAL Y MARINO (MARM). 2010. Anuario de estadística Ministerio de Medio Ambiente y Rural y Marino. Madrid. España.

MOLINA, J.M., VAL, L. y TORREGROSA, A. 2001. Comparación de la eficacia biológica de distintos tratamientos fitosanitarios en el control de Lobesia Botrana. 1º Congreso nacional de ingeniería para la agricultura y el medio rural.

MONTERO, J.I., ANTÓN, A. y MUÑOZ, P. 2003. Nebulización: Efectos sobre el microclima, producción y eficiencia en el uso del agua. En: Mejora de la eficiencia en el uso del agua en cultivos protegidos. Curso de Especialización (Fernández M., Lorenzo P., Cuadrado I., eds). FIAPA, Almería. pp. 231-243.

MORENO, F., TELLEZ. M.M., BENÍTEZ, E., GÓMEZ, J., RODRIGUEZ, M.D., SÁEZ, E., BELDA, J., CAÑERO, R., y CABELLO, T. 1993. Lucha integrada en cultivo bajo plástico en el Sur de España. Horticultura. 4(1): 41-54.

MURRAY, R.A., CROSS, J.V. y RIDOUT, M.S. 2000. The measurement of multiple spray deposits by sequential application of metal chelate tracers. Annals of Applied biology. 137(3): 245-252.

NUYTTENS, D., BRAECKMAN, P. y FOQUÉ, D. 2009a. Optimization of the spray application technology in bay laurel (Laurus nobilis). Communications in agricultural and applied biological scienciences. 47(1): 85-90.

NUYTTENS, D., BRAECKMAN, P., WIDNEY, S., y SONCK, B. 2009b. Potential dermal exposure affected by greenhouses spray application technique. Pest management science. 65:781-790.

NUYTTENS, D., DE CHAMPHELEIRE, M., VERBOVEN, P. y B. SONCK. 2010. Comparison between indirect an direct spray drift assessment means. Biosystems Engineering. 105(1): 2-12.

NUYTTENS, D., DEKEYSER, D., DE SCHAMPHELEIRE, M., BAETENS, K. y SONCK, B. 2007. The effect of air support on droplet characteristics and spray drift. Applied Biology Science. 72(2): 417-423.

NUYTTENS, D., WINDEY, S., y SONCK, B. 2004a. Comparison of operator exposure for five different greenhouse spraying applications. Journal Agricultural Safety Health. 10:187-195.

NUYTTENS, D., WINDEY, S., y SONCK, B. 2004b. Optimisation of a vertical spray boom gor greenhouse spray applications. Biosystem Engenieering. 89:417-423.

OLIVET, J.J., VAL, L. y USERA. G. 2011. Distribution and effectiveness of pesticide application with a cold fogger on pepper plants cultured in a greenhouse. Crop Protection. 30: 977-985.

PANNENTON, B. 2002. Image analysis of Water-Sensitive cards for spray coverage experiments. Applied Engineering in Agriculture. 18(2): 179-182.

PANNENTON, B. y PICHÉ, M. 2005. Interaction between application volume, airflow, and spray quality in air-assisted spraying. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers. 48(1): 37-44.

PERGHER, B. y GUBIANI, R. 1995. The effect of spray application rate and airflow rate on foliar deposition in hedgerow vineyard. Journal of Agricultural Engineering Research. 61(3): 205-216.

PERGHER, G. 2001. Recovery rate of tracer dyes used for spray deposit assessment. Transactions of the ASAE. 44(4): 787-794.

PERGHER, G. GUBIANI, R. y TONETTO, G. 1997. Foliar deposition and pesticide losses form three air-assisted sprayers in a hedgerow vineyard. Crop Protection. 16(1): 25-33.

PERGHER, G., BALSARI, P., CERRUTO, E. y VIERI, M. 2002. The relationship between vertical spray patterns from air-assisted sprayers and foliar deposits in vine canopies. Aspects of Applied Biology. 66: 323-330.

PERGHER, G., ZUCCHIATTI, N. y GUBIANI, R. 1999. Influence of spray application parameters of deposition in Asparagus crop. Journal of Agricultural Engineering Research. 73: 19-28.

PEZZI, F. y RONDELLI, V. 2000. The performance of an air-assisted sprayer operating in vines. Journal of Agricultural Engineering Research. 76: 331-340.

PICHÉ, M., PANNENTON, B. Y THERIAULT, R. 2000. Field evaluation on air-assisted boom spraying on broccoli and potato. Transactions of the ASAE. 43 (4): 793-799.

PIERCE, R. y AYERS, P.D. 2001. Evaluation of deposition and application of accuracy of pulse width modulation variable rate field sprayers. ASAE Annual International Meeting. ASAE paper nº 01-1077

PLANAS, S. 1994. Los tratamientos fitosanitarios. Vida Rural. (2):59-61.

PLANAS, S., SOLANELLES, F., FILLAT, A. y PIFARRE, C. 1996. A proposal of methodology for air-assisted sprayers assessment in apple orchards. Paper nº 96-A-149. AgEng'96

PORRAS, A. 2000. Maquinaria para cultivo. Ed: Agrícola Española S.A. Madrid: 73-78.

PORRAS, A., SORIANO, M.L. y CABEZUELO, P. 1987. Sistema de control de calidad de aplicación de tratamientos cúpricos en olivos. Ed. D.G.I.E.A. Junta de Andalucía.

SALYANI, M. y FOX, R.D. 1999. Evaluation of spray quality by Oil and Water Sensitive Papers. Transactions of the ASAE. 42(1): 37-43.

SÁNCHEZ-HERMOSILA, J., MEDINA, R., GÁZQUEZ, J.C. 2003. Improvements in pesticide application and greenhouses. Workshop on Spray Application Techniques in Fruit Growing. Universidad de Turin, Italia. 54-61.

SÁNCHEZ-HERMOSILLA, J. y MEDINA, R. 2004. Adaptative threshold for droplet spot analysis using water-sensitive paper. American Society of Agricultural Engineers. 20(5): 547-551.

SÁNCHEZ-HERMOSILLA, J., GARZÓN, E., BARRANCO. P., y CABELLO, T. 2001. Análisis de la distribución de productos fitosanitarios con diferentes técnicas de pulverización en los invernaderos del sudeste español. 1º Congreso Nacional para la agricultura y el medio rural, Valencia. 213-218.

SÁNCHEZ-HERMOSILLA, J., MEDINA, R., RODRÍGUEZ, F. y CALLEJÓN, JA. 2008. Use of food dyes as tracers to measure multiple spray deposits by ultraviolet-visible absorption spectrophotometry. Transactions of the ASABE. 51(4): 1177-1186.

SÁNCHEZ-HERMOSILLA, J., RINCÓN, V.J., PÁEZ, F., AGÜERA, F. y CARVAJAL, F. 2011b. 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.

SANCHEZ-HERMOSILLA, J., RINCÓN, V.J., PÁEZ, F., y FERNÁNDEZ, M. 2011a. Caracterización de una carretilla pulverizadora en un cultivo de tomate bajo invernadero. Vida Rural. 18(326):54-58

SÁNCHEZ-HERMOSILLA, J., SÁNCHEZ-GIMENO, A., RODRÍGUEZ, F. y GUZMÁN, J.L. 2007. Influencia de la inclinación de las boquillas en tratamientos fitosanitarios en cultivos hortícolas en invernadero. IV Congreso Nacional y I Congreso Ibérico de Agroingeniería. Albacete, España.

SOLANELLES, F., ESCOLÁ, A., FILLAT, A., ROSELLI, J.R. y PLANAS, S. 2001. Nuevas tecnologías en la aplicación de productos fitosanitarios en cultivos arbóreos. 1º Congreso nacional de ingeniería para la agricultura y el medio rural. Valencia.

SUMNER, H.R., HERZOG, G.A., SUMNER, P.E., BADER, M. y MULLINIX, B.G. 2000. Chemical application equipment for improved deposition in cotton. Journal of Cotton Science. 4(1): 19-27.

TU, Y.Q., LIN, Z.M. y ZHANG, J.Y. 1986. The effect of leaf shape on the deposition of spray droplets in rice. Crop Protection. 5(1): 3-7.

USERA, G., OLIVET, J.J., JACQUES, R. y SCHENZER, D. 2002. Aplicación de la simulación numérica de flujos turbulentos al estudio de técnicas de aplicación de fitosanitarios en invernaderos. Congreso Latinoamericano de Ingeniería Agrícola (CLIA 2002). La Habana. Cuba.

VAN DE ZANDE, J.C., VAN IJZENDOORN, M.T. y MEIER, R. 2000. The effect of air assistance, dose and spray interval on late blight control Phytophtora infestans in potatoes. En: The BCPC Conference: Pest and Diseases. Volume 3. Proceedings of an international conference. Brighton, UK. p. 1087-1092.

VAN OS, E.A., MICHIELSEN, J.M.G.P., CORVER, F.J.M., VAN DEN BERG, J.V., BRUINS, M.A., PORSKAMP, H.A.J. y VAN DE ZANDE, J.C. 2005. Reduction of spray pressure leads to less emission and better deposition of spray liquid at high-volume spraying in greenhouse tomato. Acta Horticulturae. (ISHS) 691: 187-194.

WATSON, D.G. y WOLF, R.L. 1985. Air carrier technique for row crop spraying applications. Transactions of the ASAE. 28(5): 1445-1448.

WHITNEY, J.D., SALYANI, M., CHURCHIRLL, D.B., KNAPP, J.L., WHITESIDE, J.O. y LITTELL, D.C. 1989. A field investigation to examine the effects of sprayer type, ground speed, and volume rate on spray deposition in Florida citrus. Journal of Agricultural Engineering Research. 42(4): 275-283.

WOMAC, A., ETHERIDGE, R., SEIBERT, A., HOGAN, D. y RAY, S. 2001. Sprayer speed and ventury-nozzle effects on broadcast application uniformity. Transactions of the ASAE. 44(6): 1437-1444.

ZHU, H., DORNDER, J.W., ROWLAND, D.L., DERKSEN, R.C. y OZKAN, H.E. 2004. Spray penetration into peanut canopies with hydraulic nozzle tips. Biosystem Engineering. 87(3): 275-283.