



UNIVERSIDAD  
POLITECNICA  
DE VALENCIA

## **TESIS DOCTORAL**

**OPTIMIZACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS  
FITOSANITARIOS EN CULTIVOS DE  
INVERNADERO EN URUGUAY**

**JUAN JOSE OLIVET MARTINEZ**

**DEPARTAMENTO DE MECANIZACIÓN Y  
TECNOLOGÍA AGRARIA**

**TITULO:**

**OPTIMIZACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS  
FITOSANITARIOS EN CULTIVOS DE INVERNADERO EN  
URUGUAY**

**DOCTORANDO:**

**JUAN JOSE OLIVET MARTINEZ  
INGENIERO AGRONOMO**

**DIRECTOR:**

**DOCTOR LUIS VAL MANTEROLA**

**DEPARTAMENTO DE MECANIZACIÓN Y  
TECNOLOGÍA AGRARIA**

**UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA**

**Enero 2009**

## **AGRADECIMIENTOS**

El más profundo agradecimiento a todos los que de alguna u otra forma me alentaron en este camino.

A todo el personal del Departamento de Mecanización Tecnología Agraria de la Universidad Politécnica de Valencia y las universidades españolas que me recibieron como un hermano en tierra lejana

A mi familia por su amor y su mucha paciencia

## **TABLA DE CONTENIDO**

<b>LISTA DE CUADROS</b> .....	<b>VIII</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>X</b>
<b>GLOSARIO</b> .....	<b>XI</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>XIII</b>
<b>RESUM</b> .....	<b>XV</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>XVII</b>
<b>1. INTRODUCCION</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1. CARACTERÍSTICAS DE LA HORTICULTURA EN URUGUAY</b> ..	<b>1</b>
<b>1.2. EL CONTROL DE PLAGAS Y ENFERMEDADES EN LOS CULTIVOS PROTEGIDOS</b> .....	<b>3</b>
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	<b>9</b>
<b>2.1. OBJETIVO GENERAL</b> .....	<b>9</b>
<b>2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS</b> .....	<b>9</b>
<b>3. ANTECEDENTES</b> .....	<b>10</b>
<b>3.1. GENERALIDADES</b> .....	<b>10</b>
<b>3.2. REVISION BIBLIOGRAFICA</b> .....	<b>11</b>
<b>3.2.1. Caracterización del depósito</b> .....	<b>12</b>
<b>3.2.2. Asistencia de aire</b> .....	<b>14</b>
<b>3.2.3. Carga electrostática</b> .....	<b>19</b>
<b>3.2.4. Variaciones en las técnicas de pulverización hidráulicas</b> .....	<b>27</b>
<b>3.2.5. Nebulizadores fríos</b> .....	<b>32</b>
<b>3.2.6. Control biológico</b> .....	<b>37</b>
<b>3.2.7. Metodología de caracterización de los depósitos de pulverización</b> .....	<b>38</b>
<b>4. ENCUESTA DE TECNOLOGÍAS DE APLICACIÓN UTILIZADAS EN INVERNADEROS DEL LITORAL NOROESTE DE URUGUAY</b> .....	<b>42</b>
<b>4.1. OBJETIVOS</b> .....	<b>42</b>
<b>4.2. MATERIALES Y METODOS</b> .....	<b>42</b>
<b>4.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	<b>42</b>
<b>4.3.1. Forma y dimensiones de los invernaderos</b> .....	<b>42</b>
<b>4.3.2. Equipos de aplicación utilizados</b> .....	<b>46</b>
<b>4.3.3. Volumen de aplicación</b> .....	<b>47</b>
<b>4.3.4. Volumen de aplicación medido</b> .....	<b>48</b>
<b>5. OPTIMIZACION DE LA CONFIGURACION DE BARRAS VERTICALES DE APLICACIÓN MANUAL</b> .....	<b>50</b>

<b>5.1. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....</b>	<b>50</b>
<b>5.2. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>50</b>
5.2.1. Calificación y cuantificación de la cobertura sobre el follaje.....	50
5.2.2. Ensayo A.....	53
5.2.3. Ensayo B.....	55
5.2.4. Evaluación de la cobertura sobre el follaje.....	56
5.2.5. Diseño experimental y procedimiento de análisis estadístico de los resultados.....	56
<b>5.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>58</b>
5.3.1. Ensayo A.....	58
5.3.2. Ensayo B.....	63
<b>6. OPTIMIZACION DE LAS APLICACIONES EN INVERNADERO MEDIANTE EVALUACIÓN DE LA DISTRIBUCION Y EL CONTROL DE MOSCA BLANCA EN UN CULTIVO DE TOMATE.....</b>	<b>66</b>
<b>6.1. OBJETIVOS .....</b>	<b>66</b>
<b>6.2. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>66</b>
6.2.1. Tratamientos evaluados.....	67
6.2.2. Evaluación de la cobertura sobre el follaje.....	68
6.2.3. Aplicaciones realizadas .....	68
6.2.4. Evaluación del control biológico.....	69
6.2.5. Diseño experimental y procedimiento de análisis estadístico de los resultados.....	69
<b>6.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>70</b>
6.3.1. Cobertura sobre el follaje .....	70
6.3.2. Evaluación del control de mosca blanca .....	77
<b>7. OPTIMIZACIÓN DE LAS APLICACIONES EN INVERNADERO A TRAVES DE EVALUACIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE APLICACIÓN EN EL CONTROL DE PLAGAS Y ENFERMEDADES DEL CULTIVO DE TOMATE .....</b>	<b>78</b>
<b>7.3. OBJETIVOS .....</b>	<b>78</b>
<b>7.4. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>78</b>
7.4.3. Tratamientos.....	79
7.4.4. Evaluación del control biológico .....	82
7.4.5. Diseño experimental y procedimiento de análisis estadístico de los resultados.....	83
7.4.6. Tratamientos y productos utilizados.....	84
<b>7.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>87</b>
7.5.7. Volumen de aplicación .....	87
7.5.8. Eficacia de control de botrytis.....	90
7.5.9. Eficacia de control de mosca blanca.....	93
7.5.10. Eficacia de control de adultos mosca blanca.....	93
7.5.11. Eficacia de control de ninfas mosca blanca.....	96

7.5.12. Eficacia de control de polilla del tomate .....	98
<b>8. OPTIMIZACIÓN DE LAS APLICACIONES EN UN CULTIVO DE PIMIENTO EN INVERNADERO MEDIANTE TECNOLOGIAS DE APLICACIÓN NEUMÁTICA CON Y SIN CARGA ELECTROSTÁTICA...</b> .....	<b>100</b>
8.1. OBJETIVOS.....	100
8.2. MATERIALES Y MÉTODOS .....	100
8.2.1. Tratamientos.....	101
8.2.2. Evaluación de la cobertura.....	101
8.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	103
<b>9. OPTIMIZACIÓN DEL CONTROL DE THRIPS EN EL CULTIVO DE PIMIENTO MEDIANTE COMPARACIÓN DE PULVERIZACIÓN HIDRÁULICA Y PULVERIZACIÓN CON CARGA ELECTROSTÁTICA</b> .....	<b>110</b>
9.1. OBJETIVOS .....	110
9.2. MATERIALES Y MÉTODOS .....	110
9.2.1. Tratamientos.....	110
9.2.2. Evaluación del control biológico .....	111
9.2.3. Diseño experimental y procedimiento de análisis estadístico de los resultados .....	111
9.2.4. Aplicaciones realizadas .....	112
9.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	112
<b>10. OPTIMIZACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS FITOSANITARIOS EN INVERNADEROS MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE LA NEBULIZACIÓN EN FRÍO EN UN CULTIVO DE PIMIENTO</b> .....	<b>114</b>
10.1. OBJETIVOS .....	114
10.2. MATERIALES Y MÉTODOS .....	114
10.2.1. Descripción del equipo utilizado.....	115
10.2.2. Evaluación de la cobertura sobre el follaje y sobre blancos inertes ..	118
10.2.3. Evaluación de la intensidad del flujo de aire .....	122
10.2.4. Evaluación del control biológico .....	123
10.2.5. Diseño experimental y procedimiento de análisis estadístico de los resultados .....	123
10.2.6. Aplicaciones realizadas .....	124
10.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	125
10.3.1. Cobertura sobre el follaje.....	125
10.3.2. Deposición sobre blancos artificiales.....	126
10.3.3. Caracterización del flujo de aire y su relación con la distribución de líquido .....	128
10.3.4. Estructura de los depósitos sobre blancos artificiales.....	134

10.3.5. Efectos del uso del nebulizador en el control biológico .....	137
10.3.5.1. Eficacia de control de thrips .....	137
10.3.5.2. Eficacia de control de oidio .....	139
<b>11. DISCUSION GENERAL.....</b>	<b>141</b>
<b>12. CONCLUSIONES .....</b>	<b>147</b>
<b>13. BIBLIOGRAFIA CITADA .....</b>	<b>150</b>

## LISTA DE CUADROS

<i>Cuadro 1. Equipo principal utilizado por el productor en su predio</i> .....	46
<i>Cuadro 2. Otros equipos utilizados en forma complementaria o esporádica.</i> .....	46
<i>Cuadro 3. Volumen de aplicación declarado en diferentes etapas de desarrollo del cultivo de tomate</i> .....	47
<i>Cuadro 4. Volumen medido y declarado por el productor</i> .....	48
<i>Cuadro 5. Escala de calificación de cobertura</i> .....	51
<i>Cuadro 6. Barra vertical, tratamientos evaluados ensayo A</i> .....	54
<i>Cuadro 7. Barra vertical, tratamientos evaluados ensayo B</i> .....	55
<i>Cuadro 8. Barra vertical. Efecto del tratamiento y la altura en la proporción cubierta en haz y envés</i> .....	58
<i>Cuadro 9. Barra vertical. Proporción cubierta</i> .....	60
<i>Cuadro 10. Calificación de la cobertura</i> .....	60
<i>Cuadro 11. Efecto de la orientación de las boquillas en la proporción cubierta</i> ....	63
<i>Cuadro 12. Barra vertical. Interacción Tratamiento*Altura</i> .....	64
<i>Cuadro 13 Barra vertical. Interacción Tratamiento* Profundidad</i> .....	64
<i>Cuadro 14. Barra vertical. Calificación de la cobertura</i> .....	65
<i>Cuadro 15. Tratamientos evaluados</i> .....	67
<i>Cuadro 16. Fechas de aplicación y productos utilizados</i> .....	69
<i>Cuadro 17. Cobertura en Haz</i> .....	70
<i>Cuadro 18. Cobertura en Haz. Interacción tratamiento* posición</i> .....	71
<i>Cuadro 19. Cobertura en Envés</i> .....	72
<i>Cuadro 20. Cobertura en Haz + Envés</i> .....	73
<i>Cuadro 21. Relación de cobertura haz*envés<sup>-1</sup></i> .....	74
<i>Cuadro 22. Calificación de la cobertura sobre el follaje</i> .....	75
<i>Cuadro 23. Evolución de la suma de ninfas y adultos de mosca blanca por</i> .....	77
<i>Cuadro 24. Tratamientos evaluados</i> .....	79
<i>Cuadro 25. Escala para la evaluación de incidencia de ninfas de mosca blanca</i> .....	83
<i>Cuadro 26. Productos comerciales utilizados y dosis de aplicación</i> .....	85
<i>Cuadro 27. Descripción de los agroquímicos aplicados</i> .....	86
<i>Cuadro 28: Evolución de la tasa de aplicación y el cultivo</i> .....	87
<i>Cuadro 29. Índice de aplicación volumen/ superficie</i> .....	88
<i>Cuadro 30. Índice de aplicación volumen/ volumen</i> .....	89
<i>Cuadro 31. Porcentaje de frutos atacados por Botrytis en el 3° racimo</i> .....	90
<i>Cuadro 32: Porcentaje de frutos atacados por Botrytis en el 4° racimo</i> .....	91
<i>Cuadro 33. Porcentaje de frutos atacados por botrytis en el 4° racimo</i> .....	91
<i>Cuadro 34. Porcentaje de frutos atacados por botrytis en el 6° racimo</i> .....	92
<i>Cuadro 35: Adultos de mosca blanca por planta</i> .....	94
<i>Cuadro 36. Número de adultos de mosca blanca (todas las fechas)</i> .....	95
<i>Cuadro 37. Número de ninfas de mosca blanca por folíolo, primeras cinco evaluaciones</i> .....	96
<i>Cuadro 38. Número de ninfas de mosca blanca por folíolo primeras cinco evaluaciones</i> .....	97
<i>Cuadro 39: Puntaje obtenido del número de ninfas últimas diez evaluaciones</i> .....	97
<i>Cuadro 40: Porcentaje de larvas muertas de polilla por planta</i> .....	99
<i>Cuadro 41. Tratamientos</i> .....	101
<i>Cuadro 42 Cobertura en Haz</i> .....	103



<i>Cuadro 43. Cobertura en Envés.....</i>	<i>104</i>
<i>Cuadro 44 Relación de cobertura haz – envés.....</i>	<i>105</i>
<i>Cuadro 45 Valoración de la cobertura.....</i>	<i>107</i>
<i>Cuadro 46. Tratamientos evaluados.....</i>	<i>110</i>
<i>Cuadro 47. Aplicaciones realizadas.....</i>	<i>112</i>
<i>Cuadro 48. Evolución del N° de Thrips por flor en pimiento.....</i>	<i>113</i>
<i>Cuadro 49. Principales características técnicas del equipo.....</i>	<i>115</i>
<i>Cuadro 50. Ubicación de sectores de muestreo para la evaluación del control biológico de Thrips y Oídio.....</i>	<i>123</i>
<i>Cuadro 51. Tratamientos y productos utilizados.....</i>	<i>124</i>
<i>Cuadro 52. Densidad de impactos sobre el haz de las hojas.....</i>	<i>125</i>
<i>Cuadro 53. Distribución de producto dentro del invernadero mediante.....</i>	<i>127</i>
<i>Cuadro 54. Distribución de la velocidad del aire producida por el.....</i>	<i>129</i>
<i>Cuadro 55. Correlación entre la intensidad máxima del viento y la deposición....</i>	<i>132</i>
<i>Cuadro 56. Modelos de ajuste de la velocidad de aire y deposición en la línea de colocación del nebulizador.....</i>	<i>133</i>
<i>Cuadro 57. Cobertura sobre blancos artificiales.....</i>	<i>134</i>
<i>Cuadro 58. Densidad de impactos sobre blancos artificiales.....</i>	<i>134</i>
<i>Cuadro 59. Diámetro medio de los impactos sobre blancos artificiales.....</i>	<i>135</i>
<i>Cuadro 60. Thrips por flor. Promedio de todas las evaluaciones.....</i>	<i>138</i>
<i>Cuadro 61. Oídio, promedio de colonias por hoja.....</i>	<i>140</i>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Distribución de la producción hortícola nacional .....	2
Figura 2. Invernadero tipo capilla simple.....	43
Figura 3: Capilla múltiple con abertura cenital .....	44
Figura 4: Invernadero poligonal .....	44
Figura 5: Arreglo de la plantación en canteros con filas dobles.....	45
Figura 6. Distribución típica de gotas con aplicación hidráulica de alto volmen ...	49
Figura 7. Imagen obtenida bajo luz negra y su procesamiento.....	52
Figura 8. Barra vertical con boquillas orientables y boquillas horizontales .....	56
Figura 9. Probabilidad de obtención de niveles de calificación de cobertura .....	61
Figura 10. Probabilidad de obtención de niveles de cobertura.....	76
Figura 11. Distribución de los tratamientos dentro del invernadero .....	79
Figura 12. Pulverizadora hidráulica convencional .....	80
Figura 13. Pulverizadora hidráulica de carretilla .....	81
Figura 14. Pulverizadora neumática con carga electrostática .....	82
Figura 15. Adultos de mosca blanca capturados en trampas pegajosas.....	93
Figura 16. Evolución de los adultos de mosca blanca.....	93
Figura 17. Evolución de las ninfas de mosca blanca.....	96
Figura 18: Número de adultos de polilla del tomate capturados en trampas de feromonas.....	98
Figura 19. Calificación de la cobertura en haz y envés .....	106
Figura 20. Porcentaje de cobertura en haz y envés .....	108
Figura 21. Ubicación de los tratamientos dentro del invernadero .....	111
Figura 22. Thrips por flor en pimiento.....	112
Figura 23. Vista del invernadero con el nebulizador colocado en altura.....	114
Figura 24. Vista del nebulizador .....	116
Figura 25. Esquema de colocación y alcance del nebulizador según el fabricante.....	117
Figura 26. Ubicación del equipo dentro del invernadero .....	118
Figura 27. Vista de los muestreadores colocados a lo largo de una fila.....	119
Figura 28. Espectrofluorómetro utilizado .....	120
Figura 29. Dispositivo para la digitalización de blancos de vidrio .....	120
Figura 30. Anemómetro con sensor de esfera caliente utilizado en invernadero de.....	122
Figura 31. Impactos por $\text{cm}^{-2}$ en el haz de las hojas según estrato. ....	126
Figura 32. Curvas de iso-deposición dentro del invernadero .....	127
Figura 33. Curvas de iso - velocidad del aire dentro del invernadero.....	128
Figura 34. Velocidad máxima del viento y deposición sobre blancos inertes.....	130
Figura 35. Velocidad máxima del viento y deposición sobre blancos inertes.....	131
Figura 36. Recuperación de trazador .....	132
Figura 37. Dispersión del tamaño de impactos (DMV/DMN).....	135
Figura 38. Muestra de imágenes de blanco inerte en línea del nebulizador.....	136
Figura 39. Fitotoxicidad provocada por alta dosis de aceite emulsionable.....	136
Figura 40. Evolución del N°. de thrips por flor y % de flores con thrips.....	137
Figura 41. Distribución de thrips por flor. Promedio de todas las fechas .....	138
Figura 42. Evolución del N°. de colonias de oidio por hoja .....	139
Figura 43. Distribución de colonias de oidio por hoja dentro del invernadero .....	139

## GLOSARIO

### *Nomenclatura utilizada:*

- Tasa de Aplicación: volumen total de líquido pulverizado por unidad de superficie. Utilizado como sinónimo de volumen de aplicación.
- Volumen de aplicación: volumen total de líquido pulverizado por unidad de superficie. Utilizado como sinónimo de tasa de aplicación.
- Cobertura: Superficie cubierta por el líquido pulverizado en relación al total de superficie evaluada.
- Calificación de la cobertura: asignación de un valor de cobertura mediante observación visual según una escala previamente definida.
- Proporción cubierta: Cociente entre la superficie cubierta por el líquido pulverizado y la superficie total evaluada.
- Porcentaje de cobertura: Proporción cubierta multiplicada por cien.
- Puntaje: Asignación de un valor a una variable según una escala predefinida.

## *Siglas*

ASAE	American society of agricultural engineers
BCPC	British crop protection council
CE	Concentrado emulsionable
DL50	Dosis letal media
DMV	Diámetro mediano volumétrico
DMN	Diámetro mediano numérico
ESS+	Pulverización neumática con carga electrostática realizada con pulverizador MODELO GPS5K (Electrostatic Spraying Systems Inc. Watkinsville, Ga)
ESS-	Pulverización neumática sin carga electrostática realizada con pulverizador MODELO GPS5K (Idem)
IAF	Indice de área foliar
KD50	dosis de volteo media (Knockdown dose 50)
PBI	Producto bruto interno
PC	Pulverización hidráulica convencional de alto volumen
PM	Pulverización hidráulica de volumen medio
PN	Pulverización neumática
UBV	Ultra bajo volumen
VBP	Valor bruto de producción

## **RESUMEN**

En Uruguay, el control de plagas y enfermedades en invernaderos es el problema central en la producción bajo cubierta.

Los objetivos de los trabajos que se presentan fueron caracterizar la metodología de aplicación en uso y evaluar alternativas para la optimización de los tratamientos fitosanitarios en invernaderos. Fueron evaluadas diferentes configuraciones de barras verticales de pulverización manual, pulverización hidráulica con pistola, pulverización neumática con y sin carga electrostática y nebulización en frío en cultivos de pimiento y tomate en invernadero.

A través de la encuesta realizada, se determinó que el volumen de aplicación a pleno desarrollo de los cultivos de tomate fue de aproximadamente  $1300 \text{ l.ha}^{-1}$ . Se detectaron importantes variaciones de volumen entre productores en condiciones similares de desarrollo del cultivo.

En los ensayos de distribución de barras verticales, la utilización de gotas muy finas de  $100 \mu\text{m}$  produjo disminución de la cobertura tanto en haz como en envés. La utilización de gotas de  $220 \mu\text{m}$  y  $520 \text{ l.ha}^{-1}$  presentó similares resultados en cobertura de las hojas frente a aplicaciones de gotas de  $345 \mu\text{m}$  y  $1100 \text{ l.ha}^{-1}$ . El uso de las boquillas inclinadas  $45^\circ$  hacia arriba produjo cobertura similar en el haz pero mayor en el envés en comparación con la disposición horizontal de las mismas.

En el cultivo de tomate, la aplicación neumática de bajo volumen con el pulverizador ESS (modelo GPS5K Electrostatic Spraying Systems, Inc. Watkinsville, Ga) con y sin carga electrostática a  $170 \text{ l.ha}^{-1}$  produjo mayor homogeneidad de cobertura entre la parte exterior e interior del follaje que la aplicación hidráulica convencional de alto volumen con tasas de aplicación de  $1000 \text{ l.ha}^{-1}$ .

En el cultivo de pimiento, la carga electrostática aumentó la cobertura en el haz y en el envés, tanto a 56 como a 103 l.ha<sup>-1</sup> en comparación con los mismos tratamientos sin carga. La pulverización neumática con mochila obtuvo cobertura similar en el haz y el envés de las hojas que la pulverización electrostática pero a una tasa de 240 l.ha<sup>-1</sup>

En un cultivo de tomate se evaluó la eficacia en el control de mosca blanca (*Trialeurodes Vaporariorum* W), polilla (*Tuta absoluta* Meyr) y botrytis (*Botrytis cinerea* Pers). con cinco tecnologías de aplicación manual: pulverización hidráulica de alto volumen (800 l.ha<sup>-1</sup>), pulverización hidráulica con volumen reducido (350 l.ha<sup>-1</sup>), pulverización neumática con mochila (175 l.ha<sup>-1</sup>) y pulverización neumática con y sin carga electrostática (100 l.ha<sup>-1</sup>). Los tratamientos con pulverización neumática fueron más efectivos que los de pulverización hidráulica. Las aplicaciones con el pulverizador ESS con y sin carga electrostática con tasa de aplicación media de 100 l.ha<sup>-1</sup> fueron siempre las más eficaces.

La distribución de producto lograda en un invernadero de pimiento mediante la utilización de un nebulizador frío, presentó alta variabilidad, con una rápida disminución de los depósitos en función de la distancia al nebulizador. A pesar de la heterogeneidad espacial, la densidad de impactos sobre el follaje, fue similar entre las zonas más expuestas y la parte interior más densa con una densidad de impactos promedio de 1800.cm<sup>-2</sup>.

Los impactos sobre el follaje se observaron casi exclusivamente en el haz de las hojas. La observación de depósito sobre el envés se verificó solamente en el caso de hojas retorcidas o invertidas. Mediante el uso del nebulizador, el control de thrips (*Thrips sp.*) fue bueno durante todo el ciclo del cultivo. El control de oídio del pimiento (*Leveillula taurica* (Lèv) G. Arnaud) fue aceptable en general aunque con variaciones espaciales importantes. Durante los cinco meses de duración del ensayo, no fue necesario el ingreso de operarios para realizar aplicaciones manuales de fitosanitarios.

## RESUM

A Uruguai, el control de plagues i malalties en hivernacles és el problema central en la producció d'avall coberta.

Els objectius dels treballs que es presenten van ser caracteritzar la metodologia d'aplicació en ús i avaluar alternatives per a l'optimització dels tractaments fitosanitaris en hivernacles. Van ser avaluades diferents configuracions de barres verticals de polvorització manual, polvorització hidràulica amb pistola, polvorització pneumàtica amb i sense càrrega electrostàtica i nebulització en fred en cultius de pimentó i tomaca en hivernacle.

A través del relevament realitzat, es va determinar que el volum d'aplicació a ple desenvolupament dels cultius de tomaca va ser d'aproximadament 1300 l.hi ha<sup>-1</sup>. Es van detectar importants variacions de volum entre productors en condicions semblants de desenvolupament del cultiu..

En els assajos de distribució de barres verticals, la utilització de gotes molt fines de 100 µm va produir disminució de la cobertura tant en feix com en revés. La utilització de gotes de 220 µm i 520 l.hi ha<sup>-1</sup> va presentar semblants resultats en cobertura dels fulls enfront d'aplicacions de gotes de 345 µm i 1100 l.hi ha<sup>-1</sup>. L'ús de les embocadures inclinades 45° cap amunt va produir cobertura semblant en el feix però major en el revés en comparació amb la disposició horitzontal de les mateixes.

En el cultiu de tomaca, l'aplicació pneumàtica de baix volum amb el polvoritzador ESS (model GPS5K, Electrostatic Spraying Systems, Inc. Watkinsville, Ga) amb i sense càrrega electrostàtica va produir major homogeneïtat de cobertura entre la part exterior i interior del fullatge que l'aplicació hidràulica convencional d'alt volum amb taxes d'aplicació de 170 i 1000 l.hi ha<sup>-1</sup> respectivament.

En el cultiu de pimentó, la càrrega electrostàtica va augmentar la cobertura en el feix i en el revés, tant a 56 com a 103 l.hi ha<sup>-1</sup> en comparació amb els mateixos tractaments sense càrrega. La polvorització pneumàtica amb motxilla va obtenir cobertura semblant en el feix i el revés dels fulls que la polvorització electrostàtica però a una taxa de 240 l.hi ha

En un cultiu de tomaca es va avaluar l'eficàcia en el control de mosca blanca (*Trialeurodes Vaporariorum* W), arna (*Tuta absoluta* Meyr) i botrytis (*Botrytis cinerea* Pers). amb cinc tecnologies d'aplicació manual: polvorització hidràulica d'alt volum (800 l.hi ha<sup>-1</sup>), polvorització hidràulica amb volum reduït (350 l.hi ha<sup>-1</sup>), polvorització pneumàtica amb motxilla (175 l.hi ha<sup>-1</sup>) i polvorització pneumàtica amb i sense càrrega electrostàtica (100 l.hi ha<sup>-1</sup>). Els tractaments amb polvorització pneumàtica van ser més efectius que els de polvorització hidràulica. Les aplicacions amb el polvoritzador ESS amb i sense càrrega electrostàtica amb taxa d'aplicació mitjana de 100 l.hi ha<sup>-1</sup> van ser sempre les més eficaces.

La distribució de producte aconseguida en un hivernacle de pimentó per mitjà de la utilització d'un nebulitzador fred, va presentar alta variabilitat, amb una ràpida disminució dels depòsits en funció de la distància al nebulitzador. A pesar de l'heterogeneïtat espacial, la densitat d'impactes sobre el fullatge, va ser semblant entre les zones més exposades i la part interior més densa amb una densitat d'impactes mitjana de 1800.cm<sup>-2</sup>. Els impactes sobre el fullatge es van observar quasi exclusivament en el feix dels fulls. L'observació de depòsit sobre el revés es va verificar només en el cas de fulls retorçuts o invertides. Per mitjà de l'ús del nebulitzador, el control de thrips (*Thrips sp.*) va ser bo durant tot el cicle del cultiu. El control d'oïdio del pimentó (*Leveillula taurica* (Lèv) G. Arnaud) va ser acceptable en general encara que amb variacions espacials importants. Durant els cinc mesos de duració de l'assaig, no va ser necessari l'ingrés d'operaris per a realitzar aplicacions manuals de fitosanitaris.



## SUMMARY

In Uruguay pest and disease control is the main problem in greenhouse horticultural crops. The aims of this study were to characterize the use of current plant treatment techniques and to evaluate alternatives to optimize plant treatment in greenhouses. Manual vertical boom, hydraulic spraying, air assisted spraying with and without electrostatic charge and cold foggers in pepper and tomato crops were evaluated.

We conducted surveys among farms, which revealed that the carrier volume at full development of tomato crops was approximately  $1300 \text{ l.ha}^{-1}$ . Significant differences in application rate were detected between farms with similar conditions.

The use of vertical booms, with very fine droplets of  $100 \mu\text{m}$ , produced declining coverage in abaxial and adaxial surfaces. Droplets of  $220 \mu\text{m}$  and application rate of  $520 \text{ l.ha}^{-1}$  gave similar results in leaf coverage compared to  $345 \mu\text{m}$  and  $1100 \text{ l.ha}^{-1}$ . When the nozzles were oriented 45 degrees upwards, similar coverage was achieved on the top side of the leaves, but coverage of the bottom side of the leaves was increased when compared with horizontal nozzles.

In tomato crop, pneumatic application with the low volume sprayer ESS (GPS5K MODEL, Electrostatic Spraying Systems, Inc., Watkinsville, Ga), with and without electrostatic charge with application rates of  $170 \text{ l.ha}^{-1}$ , produced greater uniformity of coverage between outer and inner foliage than conventional hydraulic high volume spraying with application rates of  $1000 \text{ l.ha}^{-1}$ .

In pepper, the use of electrostatic charge increased coverage on the top and bottom side, both at 56 and  $103 \text{ l.ha}^{-1}$  compared with the non-charged treatment. Similar coverage was obtained using a knapsack pneumatic sprayer, but the application rate was  $240 \text{ l.ha}^{-1}$ .

In tomato, five methods of manual application were evaluated for their effectiveness against whitefly (*Trialeurodes vaporariorum* W), moth (*Tuta absoluta* Meyr) and botrytis (*Botrytis cinerea* Pers): high volume hydraulic spraying (800 l.ha<sup>-1</sup>), reduced volume hydraulic spraying (350 l.ha<sup>-1</sup>), pneumatic knapsack (175 l.ha<sup>-1</sup>) and pneumatic spraying with and without electrostatic charge (100 l.ha<sup>-1</sup>). The pneumatic spray treatments were more effective than hydraulic spraying. Applications with the ESS sprayer with and without electrostatic charge and average application rate of 100 l.ha<sup>-1</sup> were the most effective on all occasions.

Product distribution by a cold fogger in greenhouse pepper, was highly variable, with a high decrease in deposits while increasing the fogger's distance. Despite the observed spatial heterogeneity, droplet density was similar between the most exposed surfaces at the top of the crop and the least exposed inside the canopy pepper, with an average impact density of 1800 cm<sup>-2</sup>. The impacts on the foliage were almost exclusively seen on the top side of leaves. Deposits on the bottom side were observed only on twisted or inverted leaves.

With the cold fogger, the thrips control (*Thrips* sp.) was high inside the whole greenhouse throughout the crop cycle. Controlling pepper powdery mildew (*Leveillula taurica* (Lèv) G. Arnaud) was generally acceptable but with significant spatial variations. During the five-month experiment there was no need for manual applications of pesticides inside the greenhouse.

## 1. INTRODUCCION

### 1.1. CARACTERÍSTICAS DE LA HORTICULTURA EN URUGUAY

El Uruguay cuenta con 16,5 millones de hectáreas dedicadas a la explotación agropecuaria. El sector agropecuario primario y agroindustrial, aportan el 18 % del PBI. El sector es fuertemente exportador en todos los rubros relacionados a la pecuaria, agricultura y cítricos. Entre el 70 y 80% de las divisas que ingresan al país se deben a exportaciones de rubros agropecuarios.

De un total de 57.000 explotaciones, 5.200 tienen como principal ingreso la horticultura con una superficie total del 0,7% de la superficie agropecuaria nacional. La superficie de cultivos hortícolas anuales es de aproximadamente 40.000 hectáreas. La ubicación de la producción responde al abastecimiento del principal mercado consumidor, Montevideo. La mayor área de cultivo se da en la región sur y en segundo lugar en el litoral norte, tomando ventaja de la época más temprana de cosecha en la misma.

La producción hortícola se caracteriza por estar tradicionalmente dirigida hacia el consumo directo para un mercado interno reducido y poco exigente, donde predominan pequeñas empresas familiares. La exportación de productos hortícolas ha sido poco relevante, siendo muy dependiente de condiciones económicas y climáticas. Las importaciones fueron significativas en la década del 90 debido a la apertura comercial del país. Desde el año 2002, las importaciones de los distintos rubros hortícolas, han sido prácticamente inexistentes, debido fundamentalmente a factores macroeconómicos.

El principal cultivo hortícola es la papa. Es un rubro altamente mecanizado donde participan solo 150 productores. El resto de los cultivos hortícolas se produce en más de 5000 establecimientos. La superficie anual de papa oscila entre 8 y 11 mil hectáreas, siguiéndole en importancia el tomate y los cultivos secos como cebolla, boniato y zanahoria.



Figura 1: Distribución de la producción hortícola nacional. Los círculos indican las principales zonas de producción en invernaderos

El Valor Bruto de Producción hortícola sin contar la papa oscila entre 40 y 50 millones de dólares, menos del 2% del Producto Bruto Agropecuario. Sin embargo, la importancia del sector radica en asegurar un suministro cercano al 100% de las necesidades del consumo interno y ser una importante fuente de empleo. Solo la horticultura genera el 10% de los empleos permanentes y el 20% del empleo temporal en la agropecuaria.

Los cultivos protegidos en Uruguay involucran a 1125 productores (URUGUAY, DIEA, 2000). Aproximadamente la mitad del tomate y pimiento se produce en invernaderos, fundamentalmente en la zona norte.

En la cosecha 2003-2004, El área cubierta por invernaderos en Uruguay totalizó las 380 hectáreas. De ellas, 292 en la zona norte de las cuales el 80 % se encontraban en los alrededores de la ciudad de Salto (URUGUAY DIEA, 2004).

Los cultivos protegidos, con sólo un 3% de la superficie total, aportan el 18% de la producción total y el 34% del VBP; en virtud de los elevados niveles de productividad y el mayor valor obtenido por unidad de producto que se origina a raíz de su venta fuera de temporada.

La zona norte, en la que se registra una mayor prevalencia de cultivos protegidos, contribuyó con el 78% de la producción bajo cubierta y el 41% del VBP hortícola total. La zona sur aportó el 73% de la producción total y el 84% de la producción a campo. Estos resultados confirman que en términos generales mantiene vigencia la especialización productiva de ambas zonas de producción: en la zona sur, cultivos de estación a campo y en la zona norte, cultivos de contra-estación bajo cubierta.

## 1.2. EL CONTROL DE PLAGAS Y ENFERMEDADES EN LOS CULTIVOS PROTEGIDOS

El control de plagas y enfermedades sigue siendo un problema grave en la producción dentro de invernaderos. El avanzar en todos los aspectos relacionados al manejo integrado de plagas y enfermedades es una necesidad manifiesta de todo el sector. Uruguay cuenta con normas para la producción integrada en invernaderos adaptadas a la Zona Sur, en el año 2008 fueron aprobadas normas adaptadas para la zona Norte.

Según Paullier et al. (2005) la polilla del tomate (*Tuta absoluta* Meyr.) y la mosca blanca (*Trialeurodes Vaporariorum* W) son las plagas de mayor

importancia en el cultivo de tomate en nuestro país. Estos insectos afectan la calidad del fruto y los rendimientos comerciales, determinando en consecuencia el principal motivo de empleo de insecticidas en el cultivo. El uso intensivo de plaguicidas ocasiona problemas de contaminación, la aparición de resistencia a los mismos y la disminución de los enemigos naturales.

Según Bernal (2004), es necesaria una racionalización del control de enfermedades con la finalidad de obtener seguridad alimentaria, sustentabilidad y calidad ambiental. La podredumbre gris, cladosporiosis, oidiopsis y cercosporiosis, requieren numerosas aplicaciones y de no mediar un estricto seguimiento y control de las mismas, los daños pueden ser totales.

En el marco del programa de cooperación AECL - INIA (España –Uruguay), Rodríguez et al. (2002), considera que la mosca blanca se reconoce como una de las más serias plagas de la horticultura, ocasionando importantes perjuicios en cultivos protegidos como tomate, morrón y melón. En cuanto a las especies identificadas en Uruguay, la principal ha sido *Trialeurodes vaporariorum* W.

La misión de cooperación constató en el Norte del país, (no así en la zona hortícola Sur) la presencia de otra especie de mosca blanca, Bemisia (*Bemisia tabaci* G .A.) Esta última es transmisora de virus y a nivel mundial ha habido un aumento de enfermedades virales por el incremento de población del vector. En Uruguay, hasta el 2002 no se habían diagnosticado enfermedades virales producidas por mosca blanca.

Una misión de la Universidad de Kentucky a mediados del 2005, permitió diagnosticar una sintomatología aparecida en Salto como enfermedad viral transmitida por esta mosca blanca, si bien no se trataría del virus de la cuchara como se lo conoce coloquialmente (TYLCV).

En cuanto a los daños producidos por dicha plaga, están los directamente producidos por la alimentación de ninfas y adultos: debilitamiento, alteración del crecimiento, pérdidas de producción y de calidad. También hay daños indirectos producidos por las abundantes secreciones azucaradas sobre las que se desarrollan hongos secundarios con la consiguiente depreciación de la calidad de frutos (fumagina).

En el año 2007, *Bemisia* ya es la principal plaga en los cultivos de pimiento en invernaderos, se han identificado varios virus probablemente transmitidos por ella. Se realizan evaluaciones de métodos alternativos de control mediante hongos entomopatógenos y parasitoides pero sin un grado de desarrollo que pueda prescindir de los tratamientos químicos (Bernal y Buenahora, 2007).

Otra plaga de gran incidencia económica son los thrips. Dentro de la familia Thripidae, los géneros *Thrips* y *Frankliniella* son los de mayor importancia. Muchas especies comprendidas dentro de estos géneros son conocidas como thrips de las flores. El polen provee nutrientes para una buena producción de huevos, cuando las flores son escasas, los adultos se alimentan de las hojas (Kirk, 1987),

Las especies detectadas en cultivos hortícolas en Uruguay son *Thrips tabaci* (Lindeman), *Frankliniella schultzei* (Trybom) y *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Bentancourt y Scatoni, 1999).

Los thrips causan daños directos por su alimentación y son especies transmisoras de virus. El mayor daño producido en cultivos de tomate y pimiento es la transmisión del virus del bronceado del tomate o peste negra (Tomato Spotted Wilt Virus). Este virus, perteneciente al grupo de los *Tospovirus* es adquirido por las ninfas al alimentarse en plantas infectadas.

El virus se replica dentro del insecto y es transmitido por los adultos a las plantas sanas durante su alimentación. Luego de un período de incubación de duración variable según especie y variedad afectada, aparecen los

síntomas de la enfermedad. Manchas concéntricas muy características en hojas y frutos, reducción de crecimiento, deformaciones, pérdida de producción y muerte de plantas. Los cultivos afectados, ven su población diezmada, y el período de cosecha es reducido. (Nuez et al., 1995)

*Frankliniella occidentalis* es conocido como el thrip occidental de las flores (western flower thrips). Especie originaria de California, habita desde el sur de Canadá hasta México. Fue introducido en Holanda con flores procedentes de los Estados Unidos hacia 1985, y desde allí se dispersó a los cultivos protegidos de toda Europa, afectando una variedad de cultivos en invernadero y ornamentales. En los Países Bajos, Dinamarca, Alemania, Reino Unido, Francia, España e Italia, se le conoció hacia 1986. En 1986 alcanzó niveles de plaga en España en cultivos protegidos, y de allí se esparció hacia el norte de África y a toda la cuenca mediterránea. (EPPO, 1989).

Esta especie fue reportada por primera vez en Uruguay por Terra et al. (1999), desde ese entonces la abundancia y los daños provocados han ido en aumento. Debido a su gran polifagia es capaz de vivir sobre diversos frutales, cultivos industriales, cereales, hortalizas, plantas ornamentales, además de diferentes malezas. En Uruguay desde su reciente detección y hasta el momento, su mayor incidencia ha sido sobre tomate y pimiento. En ambos cultivos se observan ataques de este insecto asociados con el virus de la peste negra (Bentancourt y Scatoni, 1999).

En el cultivo de pimiento en invernadero, la enfermedad más importante luego de la peste negra es el Oídio (Bernal 2006).

El hongo causante de esta enfermedad es *Leveillula taurica* (Lèv) G. Arnaud. El hongo penetra por los estomas. A través de los mismos se produce la salida del signo de la enfermedad, un micelio blanquecino en el envés que se corresponde con manchas cloróticas en el haz. A diferencia de otras especies de oídios, este es de desarrollo endofítico lo que implica mayores dificultades para su control (Nuez et al., 1995).



En cuanto a los daños ocasionados, es una enfermedad que de no controlarse produce pérdidas totales del cultivo en invernaderos. En ataques severos se produce una intensa defoliación con la consecuente pérdida de la capacidad fotosintética y la producción. (Café et al., 2001).

En síntesis, en los principales cultivos de invernadero (tomate y morrón), algunas plagas y enfermedades se vuelven incontrolables en algún momento del ciclo produciendo severos daños económicos al productor. Para paliar esas situaciones es muy frecuente la utilización de multiplicidad de productos en forma repetida y sin obtener los resultados esperados.

La tecnología de aplicación de fitosanitarios en invernaderos utilizada en Uruguay es uno de los factores determinantes de la baja eficacia de muchos de los tratamientos efectuados.

Rara vez se asocia la baja eficacia de los tratamientos a la pobre calidad de las aplicaciones realizadas. La tecnología de aplicación más difundida en invernaderos es la aplicación hidráulica de alto volumen. Según Jacques et al. (2003), esta forma de aplicación implica algunas limitantes:

- mala distribución del producto dentro del follaje
- excesiva dilución de los productos
- agravamiento paulatino de los problemas sanitarios a medida que se desarrolla el cultivo
- gran variabilidad de volúmenes de aplicación en condiciones similares de producción
- tendencia a desacreditar los productos por el bajo control resultante
- utilización mayoritaria de boquillas de mala calidad que se desgastan rápidamente y no se recambian
- importante confusión en el manejo de los volúmenes de aplicación, y desconocimiento de la relación producto-follaje aplicadas.

Las técnicas alternativas a la pulverización hidráulica convencional están poco difundidas. La pulverización neumática con mochila es utilizada solo

por productores de avanzada quienes reconocen su mayor eficacia. El uso de termonebulizadores ha sido abandonado por razones más comerciales que productivas. Los nebulizadores fríos son muy pocos aún. El uso de carga electrostática es absolutamente desconocido existiendo solo un equipo experimental en el país.

Dada la problemática planteada en Uruguay, se han desarrollado una serie de experimentos para evaluar técnicas de pulverización en invernaderos. Una de las primeras actividades se orientó a conocer los métodos para realizar los tratamientos más usuales a nivel comercial. El otro conjunto de actividades fue la realización de ensayos experimentales.

Algunas de las técnicas evaluadas ya eran utilizadas en el país, por lo que en el trabajo se plantearon variantes para su optimización. Ese es el caso de la pulverización hidráulica donde, en función de los antecedentes, se planteó la alternativa de aplicar con menor tamaño de gotas y menor tasa de aplicación.

Las barras verticales de pulverización para cultivos conducidos en espaldera dentro de los invernaderos también fueron objeto de algunos estudios, ya que podrían ser una buena alternativa a las aplicaciones de pistola convencionales mejorando la uniformidad y la rapidez de aplicación.

También se evaluó la pulverización neumática con mochila y con un equipo neumático de pistola con carga electrostática por inducción y baja tasa de aplicación.

La nebulización en frío empezó a ser promovida por el sector comercial. Algunos buenos resultados obtenidos por productores y la relativa novedad de la tecnología la mostraban como la nueva “panacea” de las aplicaciones en invernaderos. La posibilidad de programar los tratamientos para su realización nocturna en forma automática y la disminución de la contaminación de los operarios, son ventajas indudables que justificaron una evaluación de ésta técnica.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GENERAL**

Contribuir a la sustentabilidad de la producción hortícola a través de la evaluación de tecnologías de aplicación de productos fitosanitarios en invernaderos y la optimización en su empleo.

### **2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- conocer las técnicas actualmente utilizadas en las aplicaciones en invernaderos del litoral noroeste del Uruguay.
- evaluar el efecto de diferentes tecnologías de pulverización en la cobertura del follaje en los cultivos de tomate y pimiento en invernaderos.
- evaluar el efecto de diferentes tecnologías de pulverización en el control de plagas y enfermedades de cultivos de tomate y pimiento en invernaderos
- proponer ajustes y alternativas en la tecnología de aplicación empleadas a efectos de lograr mejoras en la eficacia biológica de los tratamientos en invernaderos.

### 3. ANTECEDENTES

#### 3.1. GENERALIDADES

Esta revisión de antecedentes, tuvo como objeto analizar las publicaciones relacionadas con la tecnología de aplicación de fitosanitarios en cultivos hortícolas en general, haciendo énfasis en los cultivos de invernaderos.

La tecnología de aplicación en invernaderos difiere radicalmente de las prácticas habituales de la producción a cielo abierto debido al ambiente más o menos confinado donde la producción se lleva a cabo. Es así que se pueden utilizar metodologías y equipos con menos restricciones relacionadas a las condiciones meteorológicas que en la producción a cielo abierto.

Sin duda también aparecen otro tipo de complicaciones. La necesidad de maximizar el uso del suelo cubierto obliga a altas densidades de plantación, lo que conlleva a la realización de aplicaciones manuales, condiciones inhóspitas para los aplicadores, falta de ventilación y alta frecuencia de aplicaciones. Las condiciones ambientales que se crean artificialmente son tan beneficiosas para las plantas como para los insectos ácaros y hongos.

La mayoría de los trabajos consultados que evalúan el control biológico de los tratamientos en estudio refiere al control de insectos. Aparecen con frecuencia trabajos sobre el control de mosca blanca (*Trialeurodes vaporariorum* W o *Bemisia tabaci* G). Mucho menor en cantidad son los trabajos encontrados sobre el control de enfermedades.

Son muchos los autores que han evaluado y comprobado en diferentes grados la bondad del uso de asistencia de aire, gotas pequeñas, bajos volúmenes, y carga electrostática. En los trabajos comparativos consultados, las aplicaciones hidráulicas de alto volumen suelen ocupar los peores lugares de la escala.

### 3.2. REVISION BIBLIOGRAFICA

Lindquist et al. (1993), realizan una extensiva revisión de la problemática específica del control de plagas y enfermedades en invernaderos. Al igual que en cualquier cultivo, las aplicaciones pretenden optimizar la entrega de un pesticida para controlar o prevenir el establecimiento de plagas o patógenos de diverso tipo, pero en invernaderos los objetivos específicos difieren. Muy pocos trabajos se realizan a efectos de establecer umbrales de daño económico en invernaderos de cultivos hortícolas, ninguno en cultivos ornamentales donde el umbral admisible es cero. Es así que la frecuencia e intensidad de las aplicaciones resultan en la aparición de resistencias que disminuyen la disponibilidad de productos efectivos permanentemente.

En los tratamientos para el control de plagas, los resultados experimentales permiten generalizar que la disminución del tamaño de gotas de pulverización y su incremento numérico determina mayor eficacia de control, aunque hay excepciones como los aceites y productos similares. En el caso de las aplicaciones para control de enfermedades, existe evidencia conflictiva en relación al efecto del tamaño de gotas, cantidad y concentración que no permite generalizar en forma similar, pero son muy frecuentes los resultados apuntando en el mismo sentido.

Los autores Identifican un gran potencial de las técnicas de bajo volumen en la reducción de las cantidades de agroquímicos necesarias para lograr control eficaz de los problemas sanitarios. Destacan la importancia de considerar a la técnica de aplicación de productos químicos como un elemento importante pero dentro de un programa de manejo integrado de plagas y enfermedades donde se utilicen variadas herramientas de control. En éste sentido, priorizan la utilización de aplicaciones dirigidas de agroquímicos selectivos que permitan el desarrollo de mecanismos de control natural. Las aplicaciones con nebulizadores que tratan todo el volumen del invernadero no permiten tratamientos dirigidos a ciertas partes

del cultivo, técnica interesante de considerar tendiendo a proteger a enemigos naturales eventualmente presentes en el invernadero.

### 3.2.1. Caracterización del depósito

El tamaño de las gotas de pulverización y su influencia sobre la eficiencia y eficacia de los tratamientos ha sido objeto de innumerables estudios. Una de las referencias históricas más frecuentes han sido los trabajos de Himel (1969). A través de ensayos propios y del análisis crítico de otros autores, concluye que el tamaño ideal de las gotas de pulverización para el control de insectos es del orden de las 20  $\mu\text{m}$ . Su análisis se dirige entre otras cosas a demostrar la poca eficacia de las gotas grandes de 200-350  $\mu\text{m}$ . El punto quizás más polémico de su trabajo es la afirmación de que las pulverizaciones con gotas gruesas son más contaminantes para el ambiente que con gotas finas, refiriéndose a aplicaciones a cielo abierto. Para enunciar esto, se basa en que las gotas gruesas son retenidas por la parte externa de los vegetales debido a su muy alta velocidad crítica y no tienen mayor capacidad de llegada al microambiente donde se localizan las plagas; y que por efecto de la relación diámetro-volumen la probabilidad de impacto con un insecto es mucho mayor en gotas del tamaño menor. Afirma que si las gotas gruesas fueran más eficientes, restaría poco por hacer en la mejora de los métodos de aplicación. Ahora, si el tamaño óptimo está en el orden de 20  $\mu\text{m}$  (1 % de una pulverización típica), la eficiencia de las aplicaciones sería del 1 % y existiría la posibilidad de reducir 99 % la cantidad de insecticida, lo que sería mucho más importante que la eventual deriva que podría producirse.

Alm et al. (1987), estudian en laboratorio el efecto del tamaño de gotas de 120-200  $\mu\text{m}$  y su densidad en el control de arañuela roja (*Tetranychus urticae* K). Obtienen la misma mortalidad con 41 gotas. $\text{cm}^{-2}$  de 120  $\mu\text{m}$  y 18 gotas. $\text{cm}^{-2}$  de 200  $\mu\text{m}$ . Dado que el volumen de aplicación equivalente fue de 3,7 y 7,5 l. $\text{ha}^{-1}$  respectivamente, concluyen que se puede ahorrar un 50% de agua y producto mediante la utilización de las gotas más pequeñas obteniendo un control equivalente.

En un trabajo similar Alm et al. (1989), estudian el efecto del tamaño de gotas sobre la polilla del racimo de vid (*Endopiza viteana Clemens*). El rango de densidad de impactos evaluado fue de 0 a 61 gotas.cm<sup>-2</sup>. Obtiene el 90% de mortalidad con 34 gotas de 120 µm y con 15 de 200 µm, resaltando la posibilidad de ahorro de producto por utilización de las gotas más pequeñas.

Omar y Matthews (1991), estudian en laboratorio el efecto del tamaño de gotas (36-274 µm) y la concentración de Permethrina en el control de la polilla de las crucíferas (*Plutella xylostella L.*). Utilizan dos formulaciones, ultra bajo volumen y concentrado emulsionable (UBV y CE). Para cada combinación tamaño de gota-concentración, aplicaron diferentes densidades de gotas a efectos de determinar la dosis letal media (DL50) y la dosis de volteo media (KD50). La DL50 disminuyó a medida que disminuyó el tamaño de las gotas para todas las concentraciones evaluadas. Según los autores, este efecto no puede ser solo atribuido al incremento del número de gotas por unidad de área de hoja tratada, sugiriendo que para las dos formulaciones evaluadas la transferencia de Permethrina a las larvas es más eficiente (mayor porcentaje del insecticida contenido en una gota transferido a las larvas) en depósitos compuestos de gotas pequeñas. La disminución del tamaño de gota a la mitad produjo una disminución de aproximadamente 50 % de la dosis requerida para obtener la misma respuesta. En cuanto al efecto de la concentración de insecticida, a medida que aumentó la concentración utilizada también aumentó la DL50. Este efecto resultó mucho mayor en depósitos con tamaño de gota mayor, lo que a juicio de los autores demuestra el gran desperdicio de insecticida que se produce con depósitos formados por pequeña cantidad de gotas grandes con alta concentración.

En trabajo similar, Omar et al. (1991) evalúan el efecto del tamaño de gotas y la formulación (UBV Y CE) en la persistencia de Permethrina en el control de la polilla de las crucíferas (*Plutella xylostella L.*). La aplicación fue de ultra bajo volumen. Los tamaños de gota evaluados fueron 80 y 160 µm.

Las densidades de gota fueron de 32 a 40 para el menor tamaño de gotas y 4 a 5 gotas.cm<sup>-2</sup> para el de 160 µm. La formulación de ultra bajo volumen logró mayor mortalidad que el concentrado emulsionable. El tratamiento con UBV y gotas de 80 µm, obtuvo significativamente mayor mortalidad que la misma formulación con gotas de 160 µm. (82 y 60 % respectivamente). Con la formulación CE no se obtuvieron diferencias entre los dos tamaños de gotas evaluados.

Javed y Matthews (2000), evalúan alternativas de aplicación para el control de mosca blanca en invernaderos. Realizan un bioensayo en laboratorio donde estudian la concentración letal media y la dosis letal media (LC50 y LD50) de los pesticidas diafenthiuron y ácidos grasos; dos métodos de pulverización (boquilla de cono hueco y disco centrífugo); aplicaciones dirigidas al envés o al haz mediante la inversión de las macetas con plantas; y diferentes concentraciones de producto. Si las ninfas de mosca blanca se fijan en el envés de las hojas, resulta lógico estudiar como es afectada la mortalidad provocada por determinado producto en función de la aplicación dirigida al lugar donde el insecto está inmóvil. Encuentran que la LC50 y la LD50 disminuyen 18 y 11 veces respectivamente en el caso de diafenthiuron cuando es aplicado dirigido hacia el envés. Con ácidos grasos la disminución es 7 y 11 veces respectivamente. El aumento de la concentración en los dos productos aumentó fuertemente la mortalidad de ninfas de mosca blanca, sobre todo cuando las aplicaciones son dirigidas al envés.

### **3.2.2. Asistencia de aire**

En una revisión sobre la evolución de los equipos de pulverización centrífugos, Matthews (1996) hace referencia a los equipos adaptados a la pulverización dentro de invernaderos. En aplicaciones a la intemperie, la brisa se utiliza para distribuir las gotas en una faja de pulverización de 4 a 6 m de ancho. En invernaderos, la falta de corrientes de aire se debe suplir con la utilización de un ventilador. Según el autor, la utilización de ésta técnica, con su conocido estrecho espectro de tamaño de gotas, hace



despreciable todo riesgo de intoxicación por vía respiratoria en comparación con tratamientos realizados con termonebulizadores o nebulizadores fríos. Otro aspecto, en este caso común a otras técnicas de bajo y ultra-bajo volumen, es que se evita el aporte de humedad dentro del invernadero, aspecto de gran importancia en climas húmedos como el de Uruguay.

El uso de asistencia de aire para mejorar el resultado de la pulverización hidráulica en cultivos hortícolas es de particular interés en los casos donde la densidad del follaje o la ubicación de la plaga o enfermedad dificultan el control. Cooke et al. (1990) evalúan un equipo de cortina de aire (pulverizador Degania, con dos tipos de boquillas de cono hueco), un equipo hidráulico con diferentes boquillas; dosis normal de fitosanitario y dosis reducida (50%). Las variables principales fueron deposición, deriva y eficacia biológica de un herbicida y varios fungicidas en cultivos de avena, trigo, papa y repollito de Bruselas. En términos generales, concluyen que el equipo con asistencia de aire logra depósitos más homogéneos que los de pulverización hidráulica, sobre todo en papa y repollito de Bruselas, (cultivo mencionado por los autores como de gran dificultad respecto a su complejidad morfológica). No obtuvieron evidencia de obtener un mejor control de enfermedades en relación a la pulverización hidráulica convencional, salvo en el caso de repollito de Bruselas donde el mejor control de enfermedades fue logrado con el equipo de asistencia de aire a 100% de dosis de producto y  $178 \text{ l.ha}^{-1}$  en comparación con el tratamiento convencional a  $595 \text{ l.ha}^{-1}$ .

Mencionan la tendencia a producir mayor deriva con el equipo de cortina de aire que con las boquillas hidráulicas convencionales. El mayor tamaño de las gotas del pulverizador hidráulico, la baja deriva registrada y la ausencia de significación estadística de esos resultados no parecería ameritar semejante afirmación más allá de las condiciones propias de los ensayos. El mayor valor de deriva obtenido en el ensayo fue de 1,14 % a pesar de presencia de viento de  $4\text{-}5 \text{ m.s}^{-1}$  y uso de gotas finas.

Van de Zande et al. (1996), entre 1991 y 1994 evalúan el efecto de asistencia de aire, tasa de aplicación, intervalo entre tratamientos y dosis en cultivos de cebolla en campo. La calidad de cobertura, medida mediante fluorimetría sobre blancos inertes, indicó tendencias sin diferencias estadísticas en cuanto a mayor deposición en la parte expuesta de las hojas y mayor penetración con asistencia de aire. El conteo de manchas en hoja para evaluar la incidencia de *Botrytis* resultó en mejor control de la enfermedad con 200 en lugar de 100 l.ha<sup>-1</sup> pero sin efecto de la asistencia de aire. La cosecha fue siempre superior en las parcelas con asistencia de aire, no encontrándose una explicación a éste resultado.

Los mismos autores (Van de Zande et al., 2000) evalúan la asistencia de aire para control de *Phytophthora infestans* en papa durante cuatro años. Utilizan una pulverizadora de barra con cortina de aire (Hardi Twin). Para obtener las dos condiciones buscadas en aplicación simultánea, anulan la cortina de aire en la mitad de la máquina. La tasa de aplicación fue idéntica para todos los tratamientos (200 l.ha<sup>-1</sup>) y el tamaño de gotas fue medio según clasificación propuesta por la BCPC. 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. En dos de los tres años de ensayos, los ataques fueron importantes por lo que se reportan los correspondientes resultados. Encuentran 6 % más deposición en los tratamientos en el total de la planta con asistencia de aire. La máxima diferencia se observó en el estrato medio. Los dos tratamientos produjeron una deposición en el estrato superior mucho mayor que en el estrato medio o el inferior. La deposición porcentual con asistencia fue 28,3 - 11,7 - 8,6; sin asistencia 27,5 - 8,5 - 6,7 (estrato superior, medio e inferior respectivamente).

También evaluaron la deposición en la parte superior e inferior de las hojas según estrato, presentando diferencias de deposición en el envés a favor de los tratamientos con aire en el estrato medio e inferior. Con respecto al control del hongo, encuentran diferencias muy importantes en el intervalo entre tratamientos y la dosis del fungicida. Los mejores resultados fueron a

100% de dosis y con el menor intervalo entre tratamientos. Encuentran menor infección foliar en los tratamientos con asistencia de aire cuando se aplicaba cada 7 días a plena dosis. Con menores dosis o mayor período entre aplicaciones, siempre se obtuvo peor control de la enfermedad.

Cross et al. (2000), evalúan un pulverizador hidroneumático para el control de enfermedades y plagas en cultivos de frambuesas cultivados en camas elevadas cubiertas con polietileno. Utilizaron dos tasas de aplicación ( $160$ ,  $530 \text{ l.ha}^{-1}$ ) y dos tamaños de gotas ( $181$  y  $221 \mu\text{m}$ ). El equipo utilizado contaba con tres ductos de salida de aire dirigidas a cada cama de cultivo. El mayor recubrimiento obtenido en el envés de las hojas fue  $71 \%$ , con el mayor volumen y gotas de menor tamaño. No hubo diferencias en el control de arañuelas siendo igualmente efectivos todos los tratamientos frente a una presión de infección significativa. La escasa presencia de Botrytis no permitió concluir sobre diferencias en efectividad de los tratamientos. Se pudo comprobar una significativa mayor eficacia de control de oídio en el tratamiento con volumen medio y gotas finas ( $530 \text{ l.ha}^{-1}$ ,  $181 \mu\text{m}$ ), disminuyendo a medida que los tratamientos disminuían la recubrimiento sobre las hojas o flores.

Piché et al. (2000) trabajan en el efecto de la asistencia de aire en cultivos hortícolas. Evalúan las diferencias en deposición como efecto de la asistencia de aire y el volumen de aplicación con pulverizadores de barras. Las tasas de aplicación fueron  $100$  y  $200 \text{ l.ha}^{-1}$ . Para los tratamientos con asistencia de aire se utilizaron boquillas de abanico plano con  $284$  y  $258 \mu\text{m}$ , para los sin asistencia se utilizaron boquillas de cono hueco con  $186$  y  $235 \mu\text{m}$ . Los cultivos utilizados fueron brócoli y papa. Con  $100 \text{ l.ha}^{-1}$  la asistencia de aire mejoró la uniformidad de recubrimiento para tres alturas de muestreo (superior, medio, inferior) en los dos cultivos. Para esa tasa, también encuentran mayor homogeneidad de deposición haz/envés. Cuando se utilizaron  $200 \text{ l.ha}^{-1}$ , la asistencia de aire mejoró la uniformidad en altura y la relación haz /envés en papa pero no en brócoli.

La modelización de las aplicaciones con asistencia de aire en cultivos hortícolas es desarrollada por Rocamora et al. (2002). El cultivo elegido fue alcachofa (*Cynara scolymus L*) por la dificultad que presenta su follaje denso. El pulverizador hidroneumático utilizado posee 10 tubos flexibles de salida de aire orientables, montados sobre una barra horizontal de 6m de ancho. Utilizaron tres tasas de aplicación (400, 600 y 800 l.ha<sup>-1</sup>), tres tipos de boquillas (abanico plano, cono hueco, cono lleno) y diferente número de salidas de aire por surco (2 o 3). Las variables estudiadas fueron la densidad de impactos y la tasa de recubrimiento. Los análisis univariantes permitieron la modelización de los tratamientos en función de las diferentes formas de aplicación. Si bien no se establece el tamaño de gotas utilizado, los tratamientos con boquillas de abanico plano obtuvieron la mayor cantidad de impactos, especialmente en las hojas inferiores. La relación de cobertura entre ambos lados de las hojas fue similar entre las boquillas utilizadas variando entre 1,7 y 1,8 (haz/envés). El número de salidas de aire tuvo un efecto significativo, siendo el mejor resultado obtenido con tres salidas por surco tanto en recubrimiento como en uniformidad. La reducción del volumen aplicado de 800 a 400 l.ha<sup>-1</sup> redujo el recubrimiento pero no proporcionalmente, por lo cual dicha reducción puede ser compensada por ajuste de concentración del producto a utilizar. El equipo demostró ser útil para la aplicación en alcachofa por la flexibilidad de los tubos de aire y la posibilidad de variación del número de salidas por surco.

Gan-Mor et al. (1996) trabajan en el diseño y evaluación de equipos con asistencia de aire para mejorar la deposición de pesticidas en cultivos con follaje denso. Sus diseños se basan en tubos verticales con salidas de aire y boquillas hidráulicas distribuidas en toda su longitud, aplicables en cultivos en hileras. Sus trabajos sobre algodón le permitieron optimizar aspectos de diseño para lograr alta deposición en haz y envés. Uno de sus objetivos fue obtener una corriente de aire uniforme verticalmente con una alta velocidad inicial que provocara movimientos de follaje con un rápido descenso para facilitar el depósito. Utilizó boquillas de cono hueco (DMV 124 µm ). Obtuvo alta densidad de impactos en haz y envés de las hojas.

Su principal problema fue el chorreado producido en el follaje por la obligada pequeña distancia entre el follaje y las boquillas.

El mismo autor (Gan-Mor et al., 2004) evalúa dos prototipos de bajo consumo energético en un cultivo de tomate en invernadero. Uno de ellos un pulverizador de tubo vertical con salidas de aire dotado de un ventilador radial de 250 W y discos de pulverización centrífugos. El otro, un ventilador axial de 40 W con un disco centrífugo. Con el primero observa una muy rápida caída de la velocidad del aire y un número de impactos por debajo de  $200.\text{cm}^{-2}$  lo que (según el autor) sería menos de la mitad de lo necesario para asegurar una buena eficacia con productos de contacto de baja toxicidad. Con el ventilador axial, obtiene mejor cobertura y densidad de impactos tanto a 0,5 como a 1 m.

### **3.2.3. Carga electrostática**

Otra tecnología mencionada como relevante en aplicaciones de bajo o ultra bajo volumen es la pulverización de líquidos cargados electrostáticamente. Matthews (1989) realiza una revisión de la pulverización electrostática de pesticidas. Según el autor, las técnicas de carga electrostática aplicables en tratamientos fitosanitarios son la carga por inducción; carga en campos ionizados de líquidos conductivos o no conductivos y la carga directa de líquidos semi-conductivos. Destaca los principales efectos de su utilización en el control de insectos, hongos y malezas. Como resultado de sus trabajos de investigación y del análisis de trabajos de otros investigadores, concluye que la pulverización de líquidos cargados electrostáticamente mejora la deposición total y a menudo resulta en similar o mejor control con producciones similares, especialmente con el uso de volumen mínimo de aplicación. A pesar de eso, la carga electrostática no es una alternativa universal a la pulverización hidráulica clásica. La penetración en algunos cultivos puede ser inadecuada a menos que sea suplementada con una corriente de aire. Menciona también el problema de la formulación de los pesticidas, no siempre compatible con éste tipo de aplicación.

Law (1977) patenta en Estados Unidos un sistema de pulverización con carga electrostática por inducción con asistencia de aire.

Law (2001) sintetiza en una revisión la evolución histórica de la aplicación electrostática en la agricultura, sus avances y tropiezos, el estado actual del arte y las tendencias de cara al futuro. Según el autor, el método de carga por inducción es el más adecuado cuando se pretende alcanzar los objetivos de robustez, simplicidad, certidumbre, economía y seguridad necesarios en una aplicación agrícola. Los primeros estudios ya mostraban que la carga por inducción podía lograr niveles de carga de las gotas similares al método de carga por corona con voltaje a nivel de electrodo mucho menor. Junto con la carga por inducción, el uso de una corriente de aire de alta velocidad fue efectiva en eliminar los problemas del humedecimiento del electrodo de inducción y también en el caso de la aplicación de polvos, para evitar la acumulación de partículas de alta resistividad sobre los contra-electrodos. La nube de gotas debe depositarse sobre un objetivo tridimensional, a diferencia de los objetivos bidimensionales característicos de las aplicaciones industriales.

Las formas agudas de las hojas de muchos cultivos, inducen coronas de carga que determinan una alta deposición periférica en detrimento de la penetración y homogeneidad de los depósitos por lo que una corriente de aire que transporte la nube de gotas podrá penetrar en las regiones internas del follaje electrostáticamente protegidas. El sistema de carga deberá posibilitar el manejo de los pesticidas que son mayoritariamente soluciones acuosas, suspensiones y emulsiones conductivas. El tamaño de las gotas debe ser entre 30 y 50  $\mu\text{m}$  para que las fuerzas electrostáticas superen la gravedad con relaciones carga – masa superiores a los 2  $\text{mC}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Los sistemas que mejor se adaptan a las aplicaciones en cultivos son híbridos aerodinámicos-electrostáticos. Un sistema exitoso desarrollado por la Universidad de Georgia consiste en una boquilla de pulverización neumática con electrodo incorporado de carga por inducción electrostática. Una presión de aire del orden de los 207 kPa produce gotas de 35  $\mu\text{m}$ , las barre de la boquilla para evitar su acumulación sobre el electrodo y las

impulsa hacia las plantas manteniendo una velocidad residual de  $5-6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  a un metro de distancia y una densidad espacial de carga en el orden de  $25 \mu\text{C}\cdot\text{m}^3$ . Dentro de la boquilla, la pequeña distancia coaxial entre el electrodo de inducción y el jet de aire formador de gotas producen un campo eléctrico de carga muy intenso de  $1-2 \text{ MV}\cdot\text{m}^{-1}$  a relativamente baja tensión de electrodo,  $1\text{KV}$  (*Ibíd.*, 2001).

La carga transferida a la nube de gotas producida por inducción en boquillas neumáticas es afectada por el caudal de la misma. Frost y Law (1981), evaluaron el efecto del caudal de líquido entre  $0,5$  y  $8 \text{ ml}\cdot\text{s}^{-1}$ , encontrando una disminución de la relación carga.masa<sup>-1</sup> para todas las tensiones de electrodo ( $0,5$  a  $3 \text{ kV}$ ) y caudal de aire evaluados. La causa de este efecto es atribuida a la ionización, cambios en el proceso de atomización y eventualmente al aumento del tamaño de gotas por efecto de la mayor tasa de descarga de la boquilla. Con tasa de descarga del orden de  $8 \text{ ml}\cdot\text{s}^{-1}$ , solo el uso de un caudal de aire elevado (presión de aire mayor a  $345 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$ ) lograba transferencia de carga superior a  $2\text{mC}\cdot\text{kg}^{-1}$ .

Law y Lane (1981), evalúan la deposición de pulverización obtenida con tres métodos de aplicación sobre cultivos de variada morfología, brócoli, repollo, algodón y maíz. Los métodos de aplicación fueron pulverización neumática con y sin carga electrostática a  $9,4 \text{ l}\cdot\text{ha}^{-1}$  ( $\text{DMV } 40-50 \mu\text{m}$ ), y pulverización hidráulica a  $75 \text{ l}\cdot\text{ha}^{-1}$  como tratamiento testigo. Los ensayos fueron llevados a cabo en laboratorio con un simulador dotado de una barra horizontal portaboquillas regulado a  $4,8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ . Su objetivo principal fue medir deposición (transferencia de masa nube de gotas-planta) sobre el follaje de las especies mencionadas en función de la intensidad de carga aplicada. En forma secundaria, medir la transferencia de carga del objetivo a la nube de gotas como posible indicador de la severidad del proceso de descarga gaseosa y conducción. Por último, cuantificar el incremento relativo de depósito del método de electrodeposición en comparación con la pulverización hidráulica convencional. La deposición aumentó en todos los cultivos con la intensidad de carga, hasta llegar a un máximo diferente para cada uno de ellos. El maíz, con follaje provisto de muchas puntas alcanzó

su máxima deposición a intensidad de carga menor que el repollo, evidenciando ciertas limitaciones del método debido a la forma propia de cada especie. En cuanto a la comparación entre los métodos, los autores encuentran resultados estadísticamente similares entre la deposición sin carga y el método convencional, pero ambos con diferencias significativas comparados con pulverización neumática con carga electrostática. Debe hacerse notar, que en el montaje del dispositivo experimental, la descarga de las boquillas electrostáticas fue orientada hacia atrás (en comparación con la dirección de avance), lo que podría estar magnificando las diferencias entre carga versus sin carga en comparación con tratamientos a nivel comercial.

Law (1982), utiliza la misma metodología para evaluar el efecto de los tres tratamientos sobre plantas de brócoli diferenciando nueve alturas desde la hoja superior (primera) hacia abajo. Encuentra que, globalmente el tratamiento de pulverización neumática con carga electrostática logra mayor deposición del trazador, seguido por el tratamiento sin carga y el convencional (87, 49, y 47 ng.cm<sup>-2</sup> respectivamente). Para los tres métodos, la deposición en la parte apical fue similar. Dentro de cada tratamiento, ésta fue estadísticamente mayor en el ápice que en el resto de la planta. No obtuvo diferencias a ningún nivel entre la deposición de las gotas finas sin carga y la pulverización de gotas grandes convencional. Encuentra diferencias a favor del tratamiento con carga entre las hojas 2 y 6.

Herzog et al. (1983) evalúan el efecto de aplicaciones con carga electrostática en el control de insectos en algodón durante tres años. Las aplicaciones son hidráulica convencional (65 l.ha<sup>-1</sup>, 300 µm), neumática con carga electrostática (9,3 l.ha<sup>-1</sup>, 40 µm), ambas a dosis normal y reducidas. En general, el resultado de las aplicaciones convencionales con dosis reducidas determinó peor control que a plena dosis. Durante los tres años, el control de insectos fue similar cuando se aplicó dosis completa en tratamientos convencionales y con carga electrostática. Idéntico resultado cuando se aplicó con carga electrostática a media dosis en los dos primeros años. El bajo control de insectos obtenido con carga electrostática a media



dosis en el tercer año fue adjudicado a un mal funcionamiento del sistema de carga. Concluyen que (a pesar del último resultado) la utilización de aplicaciones neumáticas con carga electrostática permite obtener control de insectos similar con la mitad de dosis que aplicaciones convencionales a dosis completa.

Abdelbagi y Adams (1987) realizan ensayos en invernadero para establecer los efectos de la carga electrostática, la asistencia de aire y el tamaño de gota y relacionar éstas con información disponible, sobre la eficiencia de permethrina contra la mosca blanca de los invernaderos (*Trialeurodes vaporariorum* W) en cultivos de tomate. Los equipos fueron un pulverizador electrodinámico con asistencia de aire (Microdyn) con dos velocidades de ventilador y un pulverizador centrífugo asistido por aire (Ulvafan). Los tamaños de gota variaron entre 18 y 54  $\mu\text{m}$ . Concluyen que a igualdad de caudal de salida (7-9  $\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$ ) el pulverizador electrostático logró mayor eficiencia de distribución del ingrediente activo en relación al disco centrífugo medido por una escala de puntajes ("Scores") propuesta por los autores. La eficiencia de control evaluada por ese método, aumentó con la densidad de impactos en el envés hasta 100 gotas. $\text{cm}^{-2}$ .

Adams y Palmer (1989), evalúan la aplicación localizada de Permethrina para el control de mosca blanca (*Trialeurodes Vaporariorum* W.) en tomate cultivado en invernadero en presencia de un enemigo natural (*Encarsia formosa* G). La mosca blanca hace la puesta de huevos en las hojas más jóvenes en la parte apical de la planta, mientras que *Encarsia* parasita fundamentalmente a las ninfas de tercer y cuarto estadio. Su objetivo fue estudiar los resultados de aplicar un insecticida dirigido a la parte apical, posibilitando el desarrollo de control biológico por la avispa en alturas inferiores en el follaje más viejo. La aplicación fue realizada mediante un pulverizador electrostático con asistencia de aire. Este pulverizador consiste en un emisor electrodinámico colocado en el extremo de un tubo con un ventilador de 3,5  $\text{m}^3\cdot\text{min}^{-1}$ . La tasa de emisión utilizada fue 0,5  $\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$ , tamaño de gotas 18  $\mu\text{m}$ , tasa de aplicación 4,8  $\text{l}\cdot\text{ha}^{-1}$ , y dosis de insecticida 28  $\text{g}\cdot\text{ha}^{-1}$  (la dosis comercial es 120  $\text{g}\cdot\text{ha}^{-1}$ ). El desarrollo de

parasitismo por *Encarsia formosa* en los estratos inferiores no tratados indicaron una buena selectividad del tratamiento. La dosis utilizada no pudo evitar el desarrollo de infecciones secundarias de fumagina (*cladosporium* sp) sobre los exudados de las ninfas de mosca blanca, alcanzando al 40 % de los frutos. Si bien en los surcos testigo sin tratar el parasitismo fue mayor, el desarrollo de fumagina sobre los correspondientes frutos alcanzó el 100 %.

Palumbo y Coates (1996) también estudian el efecto de la pulverización electrostática y la asistencia de aire en el control de mosca blanca (*Bemisia tabaci* G) en un cultivo de coliflor (*Brassica oleracea*) en campo. Utilizan un pulverizador neumático con carga electrostática, un pulverizador de cortina de aire y un pulverizador hidráulico. Las tasas de aplicación fueron 66, 292 y 386 l.ha<sup>-1</sup> respectivamente y dos dosis. Aplican insecticidas en mezcla en dosis normal y reducida (100 y 50%). En las dos campañas (92 y 93) encuentran evidencias puntuales a favor de la aplicación con el equipo de carga electrostática. Este tratamiento fue el único que logró reducción significativa de estadios inmaduros en el ensayo de 1992 en evaluación a la décima semana post-trasplante. No hubo diferencias significativas entre tratamientos para el número de cabezas cosechadas. Obtuvieron alta variabilidad y sin diferencias significativas de recubrimiento medida por tarjetas sensibles y consideran que para este tipo de tratamiento, el método de evaluación no es el más adecuado. La determinación del depósito mediante la recuperación de colorante fue bastante consistente y de menor variabilidad. Encontraron mayor cantidad depositada en el envés en varias evaluaciones con el equipo de carga electrostática y en menor medida con el pulverizador de cortina de aire. Siempre fueron menores los depósitos en el envés con la pulverización convencional. Basándose en los datos de cosecha y deposición obtenida, opinan que la pulverización electrostática con asistencia de aire puede ser un buen método para reducir las dosis de plaguicidas necesarios y lograr control efectivamente económico en el control de mosca blanca en coliflor.

Los mismos autores (Coates y Palumbo, 1997) evalúan cinco técnicas de pulverización en melón. Pulverizador neumático con y sin carga electrostática (56-61 l.ha<sup>-1</sup>), pulverizador centrífugo (12-18 l.ha<sup>-1</sup>), pulverizador de cortina de aire (151-204 l.ha<sup>-1</sup>) y pulverizador hidráulico convencional con boquillas doble abanico (227-229 l.ha<sup>-1</sup>).

La máxima deposición en el envés de las hojas del cultivo fue obtenida con el pulverizador neumático con carga electrostática y el de cortina de aire. El control de adultos de *Bemisia* fue mejor con el pulverizador electrostático (con y sin carga) que con el centrífugo. El control de ninfas a los 90 días del trasplante fue mayor en los tratamientos con asistencia de aire. El rendimiento fue básicamente igual pero la cosecha de melones categoría 12 (el calibre de mayor valor comercial) fue mayor cuando se utilizó el pulverizador electrostático con carga en comparación con el testigo sin tratar. La disminución en penetración a medida que el cultivo desarrollaba su follaje al crecer fue más notoria con el equipo electrostático que con el pulverizador hidráulico.

Kabashima et al. (1995), evalúan la eficacia de la aplicación de pesticidas en cultivo de crisantemos en invernaderos. Utilizan pulverización hidráulica de alto volumen (1200 l.ha<sup>-1</sup>) y pulverización neumática con carga electrostática (28 l.ha<sup>-1</sup>). Evalúan la población de dos áfidos: pulgón del duraznero (*Myzus persicae* S) y pulgón del algodónero (*Aphis gossypii* G) después de cuatro días de una aplicación con sulfato de nicotina. En general, el control de ambas plagas fue mayor con el equipo de carga electrostática. En el caso del pulgón del algodónero, las diferencias a favor del pulverizador electrostático fueron estadísticamente significativas.

El hongo *Verticillium lecanii* (Zimmerman) es un hongo entomopatógeno utilizado para el control biológico de pulgones, mosca blanca y otros insectos de importancia económica en cultivos de invernadero. Sopp et al (1989), consideran que el control de pulgón del algodón con *Verticillium* no ha sido satisfactorio y la difusión de ésta técnica escasa. A efectos de evaluar métodos de aplicación alternativos, utilizan un pulverizador

centrífugo con carga electrostática y aplicación hidráulica de alto volumen, en un cultivo de crisantemo en invernadero (10 y 1000 l.ha<sup>-1</sup>). El preparado comercial utilizado fue un fungicida biológico con esporas del hongo. La calidad de la aplicación se evaluó a través de la distribución de esporas, gotas y el control de pulgón. La proporción de esporas obtenidas en el envés fue mayor con el pulverizador centrífugo que con la pulverización hidráulica de alto volumen (32% y 14 % respectivamente). La densidad de gotas y la deposición en el envés fue mucho mayor con el pulverizador centrífugo con carga electrostática que con el pulverizador hidráulico. El control de pulgón fue mayor con el pulverizador centrífugo hasta la sexta semana post-aplicación.

Saito (2005), evalúa el uso de un pulverizador neumático con carga electrostática para el control de mosca blanca en invernaderos de tomate mediante un micoinsecticida. La viabilidad del hongo no fue afectada por la aplicación y la relación de depósito de esporas en el haz y envés de las hojas fue baja. Encuentra recomendable el equipo evaluado para distribuir este tipo de insecticidas en invernaderos en sustitución de la pulverización hidráulica de alto volumen tradicional en Japón.

Derksen et al. (2007), evalúan diferentes técnicas de aplicación en un cultivo de pimiento a campo. Realizan tratamientos de pulverización convencionales, con asistencia de aire y pulverización neumática con carga electrostática. En la primera serie de ensayos realizan tratamientos a dos velocidades y dos espaciamentos entre hileras. Cuando analizan la retención de líquido por el follaje encuentran menor deposición en la parte baja del mismo. No encuentran efectos de la velocidad de aplicación (6,4 y 12,9 km.h<sup>-1</sup>). Llamativamente, la retención obtenida por el tratamiento con carga electrostática produjo similares resultados a tasa de aplicación casi seis veces menores. En la segunda serie de ensayos realizados a una única velocidad analizan el porcentaje de cobertura mediante análisis de imagen. Encuentran mayor área cubierta en el envés de las hojas con la asistencia de aire sobretodo en la parte baja del cultivo.

#### 3.2.4. Variaciones en las técnicas de pulverización hidráulicas

En Uruguay, Jacques et al. (2003), trabajan en la selección de un método alternativo de pulverización hidráulica para tratamientos en invernaderos de tomate. Compararon la aplicación convencional (manguera y pistola) con tasas de aplicación medias de 1100 l.ha<sup>-1</sup> y una propuesta de menor volumen y tamaño de gota a razón de 500 l.ha<sup>-1</sup>. Se pudo verificar una mejora en el control de enfermedades (*Botrytis cinerea* Pers. y *Phitophtora infestans* (Mont. De Bary) con el volumen reducido. La presencia de polilla del tomate (*Tuta absoluta* Meyr.) no tuvo incidencia en el cultivo por lo que no hubo conclusiones sobre posibles diferencias en su control. Un hecho significativo en éste experimento, fue que los tratamientos se realizaron a las mismas concentraciones, obteniendo mejor resultado con la mitad de agroquímicos con la reducción de la tasa de aplicación y el tamaño de gotas.

Venegas et al. (2002), evaluaron el uso del sistema de riego por microaspersión en un invernadero de tomate en comparación a la aplicación mediante pulverizador de espalda manual. La uniformidad de distribución mediante microaspersión fue mejor pero con la desventaja del excesivo lavado por exceso de líquido. Para lograr la misma cantidad de depósito, debería aumentarse seis veces la concentración con relación a la aplicación manual. Con este método, la calificación obtenida en profundidad, altura y en ambos lados de las hojas indica una mayor cobertura en la parte externa y superior y con una proporción muy grande de folíolos que no mostraban ningún impacto en el envés. A pesar de ello, concluye que de cualquier manera es mejor la aplicación manual.

Las aplicaciones en invernadero sobre cultivos entutorados como tomate y otros, pueden realizarse con barras portaboquillas verticales. Lee et al. (2000), estudian esta tecnología en invernaderos de tomate en el Reino Unido. En busca de las mejores condiciones de aplicación, evaluaron el efecto del tipo de boquilla, configuración de la barra, volumen de aplicación y la asistencia de aire. La barra de aplicación fue desplazada manualmente.

Dado que en el invernadero existían caños de calefacción dobles en el piso, éstos fueron utilizados a modo de vía para el avance del equipo. Las boquillas fueron de abanico plano de 80° o 110° en las aplicaciones hidráulicas y cono hueco en la aplicación hidroneumática. En éstas aplicaciones se utilizaron velocidades de la corriente de aire, desde 2,5 a 4,5 m.s<sup>-1</sup>. El volumen de aplicación varió entre 430 y 4200 l.ha<sup>-1</sup>. Buscando depósitos mayores en el envés de las hojas, colocaron las boquillas en dos direcciones, horizontales o 45° hacia arriba. Sus resultados indican que por encima de 2800 l.ha<sup>-1</sup> no se obtiene aumentos de los depósitos sobre el total de la planta. Observan indicios de que la mejor distribución haz/envés se obtendría con boquillas de abanico plano orientadas a 45° hacia arriba y boquillas de cono hueco con asistencia de aire a la menor velocidad, 2,5 m.s<sup>-1</sup>, utilizando gotas finas y 400 a 500 l.ha<sup>-1</sup>.

Van Os et al. (2005) evaluaron el efecto de la presión de trabajo con su consecuente variación en el tamaño de gotas y la tasa de aplicación en un cultivo de tomate en invernaderos. La tasa de aplicación de 500 a 1500 l.ha con el cultivo a 0,75 m de altura y entre 1000 y 3000 l.ha con el cultivo a 2,8 m de altura. El tamaño de gotas varió entre 124 y 207 µm en función de la presión utilizada (15 y 5 bar). Utilizaron barras de aplicación verticales con boquillas de abanico plano 8002. Encontraron mayor deposición en el suelo cuando utilizaron la mayor presión. Al final del ciclo, con las boquillas orientadas 45° hacia arriba, observaron menor deposición en el suelo aunque no evaluaron la disposición horizontal. En cuanto al depósito sobre las hojas, la recuperación sobre el haz siempre fue mayor que en el envés y también mayor a la mayor presión utilizada. Concluyen la conveniencia de trabajar a 5 bar en lugar de 15. Según los autores, se obtendría una adecuada deposición sobre las hojas (aspecto no fundamentado) y reducción en la emisión hacia el suelo.

El efecto de la inclinación de las boquillas, también fue evaluada 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 homogéneo con 95 grados

de abertura y caudal nominal  $0,38 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$  distanciadas a 0,5 m entre sí. Utilizaron un vehículo autónomo de aplicación desarrollado en la Universidad de Almería. La elección del volumen de aplicación fue realizada según el método del recubrimiento óptimo (Gil, 2003, op. cit.). Los mismos fueron 386, 593 y  $628 \text{ l}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Cada ensayo fue realizado con el óptimo definido, uno 33% mayor y otro 33% menor. Con las boquillas inclinadas  $45^\circ$  hacia arriba obtuvieron mayor deposición en el envés, mayor penetración y menores pérdidas hacia el suelo. Este mejor comportamiento es atribuido a la estructura de la planta de pimiento, donde las hojas exteriores forman una pantalla que dificulta en mayor medida la penetración de las gotas dirigidas en forma horizontal.

En invernaderos de Almería, Garzón et al. (1998) evaluaron el efecto de la presión de trabajo y la tasa de aplicación en un cultivo de pimiento plantado en filas dobles. Los tratamientos fueron  $1333 \text{ l}\cdot\text{ha}^{-1}$  a 10 bar y  $2333 \text{ l}\cdot\text{ha}^{-1}$  a 20 y 30 bar. Utilizaron un pulverizador tipo carretilla dotado de pistola manual. Estudiaron el efecto de la presión sin considerar que la elección de los tratamientos implicaba efectos conjuntos de tasa de aplicación presión y tamaño de gotas. En forma general, los tratamientos obtuvieron coberturas en el haz diferentes para cada altura (57%, 29% y 9% para la parte alta media y baja respectivamente). En el envés la tendencia fue similar pero con coberturas mucho menores (5,2%, 2,6%, y 0,6%, ídem), por lo que la relación haz/envés fue en general mayor a 10. Consideran que estos tratamientos son de baja eficacia y agregan las dificultades asociadas a la forma de cultivo en filas dobles.

El mismo autor, (Garzón et al. 2000) en Almería, evalúa la eficacia de aplicación obtenida con un cañón pulverizador en invernaderos. El equipo estaba preparado para descargar un caudal de  $70 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$  de caldo y  $12.500 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$  de aire con seis boquillas de pulverización y altura de aplicación 1,8 m. El tratamiento se realizó desde un pasillo alcanzando tres filas hacia el costado. En ausencia de cultivo, se simuló el mismo mediante la colocación de blancos inertes a cuatro alturas orientando unos hacia el cañón y otros en sentido opuesto. Encuentran grandes diferencias en deposición en

alturas asociadas a la aplicación por encima del cultivo, aún en la condición del ensayo donde estaba ausente el efecto pantalla del mismo. También se aprecian excesivos depósitos en el suelo con la consiguiente pérdida de producto. Concluyen que el cañón atomizador presenta una baja eficacia técnica para pulverización sobre cultivos tutorados de gran porte en invernadero.

En invernaderos de Almería, Sánchez-Hermosilla et al. (2001), evalúan cuatro tipos de pistolas de aplicación manual. Las mismas variaron fundamentalmente en el número de boquillas (1, 2, 3 y 4). Las variables experimentales fueron la densidad de impactos, la tasa de recubrimiento y los correspondientes coeficientes de variación. Los tratamientos fueron realizados con gastos diferentes entre sí por lo cual no es posible separar claramente el efecto del N° de salidas. De cualquier manera, se observó mayor tasa de recubrimiento con la pistola de tres salidas. La menor densidad de impactos fue lograda con la pistola de una sola salida (lo cual sería coherente con su mayor diámetro de orificio).

La barra de aplicación vertical motorizada es evaluada como alternativa a las aplicaciones con pistolas manuales en un cultivo de tomate en Almería por Sánchez-Hermosilla et al. (2003). Utilizaron un equipo móvil de ensayos dotado de barra vertical aplicando a 0,3 m del cultivo. El móvil es accionado por un motor eléctrico dotado de todos los componentes de una pulverizadora y los sensores y sistemas de control necesarios para controlar sus funciones (presión, caudal y velocidad de trabajo). Evaluaron tres tasas de aplicación, 500, 750 y 1000 l.ha<sup>-1</sup>; y dos tipos de boquillas con caudal nominal de 0,38 l.min<sup>-1</sup> (abanico plano homogéneo y cono hueco). Utilizaron tres boquillas de abanico distanciadas a 0,6 m y 4 de cono hueco a 0,4 m. La presión de trabajo fue 15 bar, (a esa presión las boquillas de cono hueco utilizadas producen gotas con un DMV de 110 µm aproximadamente). Colocan tarjetas hidrosensibles en haz y envés en tres alturas, cuatro profundidades, suelo y fila adyacente. Obtienen mejor comportamiento con las boquillas de abanico plano por mayor recubrimiento y mayor penetración. El recubrimiento y el porcentaje de pérdidas al suelo



aumentaron con la tasa de aplicación. El recubrimiento del envés fue aumentando con el volumen, obteniendo el máximo (12,8%) con las boquillas de abanico plano a  $1000 \text{ l.ha}^{-1}$ . Concluyen que con las boquillas de abanico plano, se pueden obtener coberturas similares pero a menor tasa de aplicación que con las de cono hueco y con una reducción de los volúmenes de aplicación respecto a los habituales en la zona.

Nuyttens et al. (2004), evalúan configuraciones de barras verticales para la aplicación de fitosanitarios en invernaderos en el Sur de España en cultivos de tomate y pimiento. Utilizan un equipo autopropulsado diseñado específicamente para aplicaciones en invernadero y un equipo manual, ambos dotados de doble barra vertical portaboquillas. Utilizaron boquillas de abanico plano de rango extendido de 80 grados de abertura con tres caudales diferentes.(caudal nominal  $0,38$   $0,76$  y  $1,14 \text{ l.min}^{-1}$ ) El objetivo fue la determinación de la distancia de aplicación y el distanciamiento óptimos. La obtención de volumen de aplicación comparable con diferentes distancias entre boquillas fue lograda por cambio del tamaño y presión de trabajo (igualdad de volumen aplicado pero diferente tamaño de gotas).

Obtuvieron la mejor distribución cuando la distancia de aplicación era de  $0,3 \text{ m}$  tanto para boquillas distanciadas a  $0,35 \text{ m}$  como a  $0,5 \text{ m}$ . Las tasas de aplicación fueron  $750$  y  $500 \text{ l.ha}^{-1}$  para tomate y pimiento respectivamente. La mayor homogeneidad de los depósitos fue obtenida con distancia entre boquillas de  $0,35 \text{ m}$ . La deposición en el envés fue baja e irregular con una relación envés/haz de  $10\%$  en tomate y de solo  $4\%$  en pimiento, atribuyendo esa diferencia a su mayor densidad foliar. Esta opinión no parece adecuadamente fundada ya que hubo una diferencia importante en la tasa de aplicación utilizada en un cultivo y otro.

El ajuste de una metodología para la determinación de la tasa de aplicación a las características del cultivo en invernaderos, fue objeto de una serie de ensayos realizados en Almería por Sánchez- Hermosilla et al. (2005). En un cultivo de pimiento en invernadero, realizaron aplicaciones con tasas de aplicación calculadas mediante la aplicación de la ecuación de

recubrimiento óptimo (Gil, 2003) y tasas de aplicación mayores y menores a ésta ( $\pm 33\%$ ). En general, la tasa correspondiente al recubrimiento óptimo fue la que logró mayor deposición sobre el follaje con la mayor uniformidad. Otras metodología evaluadas fueron las basadas en el volumen de las filas de plantas identificada como PRV por el autor según sus iniciales en inglés (adaptada de Sutton y Unrath, 1884) y el volumen de 100 m de fila identificada como UPR (adaptada de Furness et al 1998, op. cit). Ajustaron modelos lineales y obtuvieron tasas de aplicación similares a la metodología de recubrimiento óptimo. Dada la mayor facilidad de cálculo del método PRV y UPR (que no requieren determinación del índice de área foliar), sugieren estos métodos como buenas alternativas para ajustar la tasa de aplicación al desarrollo del cultivo en condiciones comerciales.

### **3.2.5. Nebulizadores fríos**

Los nebulizadores fríos (o simplemente nebulizadores) son equipos que, frente a métodos convencionales, presentan ventajas en cuanto a ahorro de tiempo, bajas tasa de aplicación y la posibilidad de eliminar la contaminación del operario durante la aplicación. Se trata de equipos alimentados por corriente eléctrica donde el caldo se pulveriza por el efecto de arrastre del caldo en el seno de una corriente de aire generada por un ventilador. Las gotas formadas no son tan homogéneas como en el caso de los termonebulizadores, por lo que en funcionamiento estático, la superficie realmente tratada puede verse reducida y pueden producirse acumulaciones cerca del equipo. Son equipos bastante silenciosos, muchos modelos actuales vienen provistos de algún equipamiento electrónico para su control automático. Así, se puede programar la hora de iniciación del tratamiento, y su duración entre otros. En su funcionamiento, debe tenerse en cuenta la influencia de las condiciones ambientales siendo ideal una alta humedad relativa y bajas temperaturas (Val, 1995)

Según Wygoda y Rietz (1996), con el uso de nebulizadores la obtención de altas tasas de recuperación es incompatible con la obtención de una buena calidad de distribución. En un invernadero de 30 m de largo con la

utilización de gotas de 50  $\mu\text{m}$ , obtuvieron altas tasas de recuperación pero con un alto coeficiente de variación. La mayoría del depósito se obtuvo a una distancia entre 2 y 4 metros por delante del nebulizador y casi nula a los 20 metros del mismo. Con gotas de 25  $\mu\text{m}$ , el coeficiente de variación fue muy bajo (15%) pero también lo fue la tasa de recuperación. Atribuyen la baja tasa de recuperación cuando se usan gotas pequeñas a la evaporación. Observan que el aumento del caudal de la boquilla empeora la calidad de distribución. En cuanto a la magnitud de la corriente de aire, definen un índice para relacionar las características del mismo y el volumen del invernadero como el producto  $\text{velocidad} \times \text{caudal} \times \text{densidad (del aire)} / \text{volumen del invernadero}$ . Identifican ese índice como el “impulso de la corriente de aire” indicando un valor de 0,03  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-2}$  (equivalente a 0,03  $\text{N} \cdot \text{m}^{-3}$ ) como alto y adecuado para obtener buena calidad de distribución.

En ensayos con invernaderos de 70 m con el nebulizador al centro sobre una base giratoria, evaluaron el efecto de la humedad relativa modificándola mediante calefacción. Utilizando gotas grandes y alto impulso de aire obtienen mejor distribución con 80 % que con 100% de humedad relativa pero menor tasa de recuperación. Proponen como forma de mejorar la calidad de distribución, la colocación de ventiladores auxiliares o el cambio de posiciones del nebulizador a lo largo de los invernaderos.

Ebert et al. (2004) comparan métodos de aplicación en invernaderos buscando establecer relaciones entre la distribución de líquido y la eficacia biológica. Utilizan plantas de soja en macetas. Realizan dos tratamientos a tasa de aplicación recomendada por los fabricantes y otros dos a igual tasa de aplicación. Los equipos fueron pulverizador neumático con carga electrostática, nebulizador frío y un pulverizador hidráulico de pistola con boquilla de cono hueco. Evalúan la retención de caldo en hojas y brotes así como la cantidad de thrips, pulgones y arañuelas. La eficacia del control de thrips fue variable según el ensayo, no pudiendo distinguir ventajas de uno u otro equipo. En dos ensayos a volumen constante, el equipo electrostático obtuvo la menor retención de caldo pero el mejor control de thrips. Destacan que las determinaciones de retención, si bien son de importancia

en el diseño de experimentos para evaluar eficacia de pulverizadores, ésta es de poco valor si no es acompañada por la evaluación de la eficacia biológica. Los autores no logran establecer relaciones entre retención y eficacia biológica a través de los cuatro experimentos realizados, pero es de observar que los tratamientos son, en todos los casos, de bajo volumen de aplicación y tamaño de gotas.

Derksen y Sanderson (1996), evalúan técnicas de aplicación en un pequeño invernadero con macetas de *Euphorbia pulcherrima*. Utilizan aplicación hidráulica manual con pistola y manguera a dos volúmenes (935 y 1869 l.ha<sup>-1</sup>), dos tratamientos de bajo volumen con asistencia de aire y carga electrostática a dos velocidades de aplicación y 46,7 l.ha<sup>-1</sup>. Por último, un tratamiento con nebulizador frío estacionario a 71,7 l.ha<sup>-1</sup>). Este último, fue operado sin el ventilador original por las reducidas dimensiones del invernadero utilizado, sustituyéndolo por otro auxiliar de menor tamaño, el equipo se colocó a 0,91 m de altura dirigiendo el chorro de líquido 15° hacia arriba. Los mayores depósitos fueron obtenidos con la pulverización hidráulica convencional a 1869 l.ha<sup>-1</sup> tanto en el estrato superior como inferior. Esto último atribuido por los autores al escurrimiento provocado por el alto volumen. La pulverización neumática con carga electrostática produjo menores depósitos que la pulverización hidráulica de alto volumen aunque con resultados estadísticamente iguales. Las menores cantidades de deposición fueron obtenidas con el nebulizador en frío con diferencias significativas con casi todos los demás tratamientos. En cuanto a la deposición en el envés, todos los tratamientos obtuvieron menor cantidad que en el haz. En el envés se observó un comportamiento diferente según el estrato analizado. En la parte superior, el mayor depósito se obtuvo con pulverización de alto volumen, mientras que en la parte inferior, el mejor resultado fue obtenido con el pulverizador electrostático a la menor velocidad de aplicación. Según el autor, al aumentar el tiempo a igual tasa de aplicación, aumentó la relación carga- masa de -1,7 a -2,9 mC.kg<sup>-1</sup>, atribuyéndose a este hecho su mejor resultado. Se observó alta variabilidad en los depósitos obtenidos con la aplicación hidráulica a 935 l.ha<sup>-1</sup>. Con el nebulizador frío se obtuvo la menor cantidad de depósito tanto en la parte

superior como inferior del follaje, sin embargo la diferencia entre los dos estratos fue mínima. Con este equipo, se obtuvo la menor variabilidad en la parte superior de las hojas en los diferentes puntos de muestreo y estrato pero la deposición en el envés de las hojas fue la más baja de todos los tratamientos.

Austerweil et al. (2000) miden la efectividad de control y distribución de plaguicidas dentro de invernaderos utilizando nebulizadores. Compararon la distribución en invernaderos de rosas mediante el uso de nebulizadores. Evalúan como muy efectivos los tratamientos en el control de thrips (*Frankliniella occidentalis* Per.) y arañuela roja (*Tetranychus cinnabarinus* Boisd.). La dispersión fue evaluada con y sin ventiladores auxiliares (cinco por invernadero), observando una deposición menor y más heterogénea cuando éstos no fueron activados. La eficacia de los tratamientos fue muy alta. La deposición en la parte superior e inferior del cultivo fue 0,08 y 0,07  $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$  respectivamente. La relación entre depósitos de insecticida en haz y envés medidos sobre blancos de papel de filtro sujetos a las hojas fue 0,8. Este valor, indicando mayor deposición en el envés, es por demás llamativo.

Usera et al. (2002) estudian el comportamiento de un nebulizador frío en invernaderos, con el objetivo de evaluar la calidad de distribución y validar un modelo numérico que permita predecir el comportamiento de éstos equipos en invernaderos de diferentes dimensiones. El equipo utilizado fue un nebulizador estacionario programable para aplicación automatizada nocturna. Tanto los resultados experimentales como los resultados de la simulación numérica evidencian que el flujo presenta características fuertemente no estacionarias, con una oscilación casi periódica del chorro central inducido por el ventilador. Estas características difieren fuertemente de las previstas por el fabricante. Así mismo la penetración del flujo en las zonas alejadas del ventilador resulta menor a la indicada por este, verificándose un decaimiento muy rápido de la intensidad del chorro de aire. La realización de medidas de velocidad dentro de un invernadero, permitió validar la simulación realizada y verificar una correspondencia muy

satisfactoria, con los valores medidos. La simulación numérica demostró confiabilidad como herramienta para predecir el flujo inducido por ventiladores dentro de invernaderos. La tasa de recuperación del líquido pulverizado presentó gran heterogeneidad, alcanzando más de tres veces lo esperado en la línea del equipo a 7,6 m del nebulizador. La disminución de la tasa de deposición a distancias mayores y la baja tasa de deposición lateral indican serias dificultades para el logro de pulverizaciones homogéneas. La baja tasa de deposición registrada luego de apagado el equipo indica, según el autor, que el proceso está asociado fundamentalmente a la presencia del flujo de aire generado por el ventilador y no a la sedimentación de gotas en suspensión dentro de la atmósfera del invernadero una vez apagado el equipo.

La emisión hacia la atmósfera producida por las aplicaciones dentro de invernaderos es un objeto poco frecuente de estudio. Van Zuydam y Van De Zande (1996), evalúan, a esos efectos, los métodos de aplicación de uso en Holanda. Las aplicaciones con barras verticales u horizontales son muy utilizadas. Los equipos son en su mayoría caseros y movidos mediante arrollado manual de la manguera de alimentación, determinando velocidades irregulares. En entrevista a 24 cultivadores, se encontraron todo tipo de defectos: boquillas gastadas, mezcladas, falta de mantenimiento y excesiva presión de operación. El uso de boquillas de abanico plano y presiones entre 10 y 15 bar era justificado por la supuesta mayor penetración lograda. Ensayos realizados para verificar dicho aspecto, condujeron a la conclusión de que no hay mayor penetración con éstas boquillas por el hecho de operar a alta presión y que la calidad de la aplicación (tomando en cuenta deposición y emisión) puede ser incrementada disminuyendo la presión a 4-6 bar. En cuanto a las técnicas de nebulización, realizan estimaciones de emisión de dos productos de diferente volatilidad, (Parathion y Dichlorvos) mediante el uso de un modelo desarrollado por Holterman (1994, op. cit.). La tasa de ventilación del invernadero y la volatilidad del producto se reconocen como los factores de mayor incidencia en las emisiones cuando se utilizan nebulizadores dentro de invernaderos. (Estas consideraciones, si bien son de interés, no serían

aplicables cuando las aplicaciones se realizan por la tarde o noche y se mantiene cerrado el invernadero hasta el otro día.)

### **3.2.6. Control biológico**

A modo de síntesis, es de interés rescatar las observaciones realizadas por los investigadores mencionados sobre la eficacia de los tratamientos.

En 20 trabajos de investigación revisados se han reportado resultados sobre la eficacia biológica de los tratamientos tanto en laboratorio como en invernadero o cultivos de campo.

En laboratorio, Himel (1969), Alm et al. (1987), Omar y Mathews (1991), Omar et al. (1991) encuentran mejores resultados con el menor de los tamaños de gota ensayados. Jaques et al. (2003) reportan mejores resultados en condiciones comerciales de invernadero mediante disminución de la tasa de aplicación y el tamaño de gotas

En la evaluación de la asistencia de aire en cultivos hortícolas de campo, Cooke et al. (1990), Cross et al. (2000) y Van de Zande et al. (2000) encuentran mejores resultados con respecto a la pulverización hidráulica convencional en algunas fechas de evaluación. Los trabajo en cebolla de Van de Zande et al. (1996) indican además mejor resultado de control de hongos cuando se utilizó el mayor volumen de aplicación ( $200 \text{ l.ha}^{-1}$ ).

La aplicación neumática con carga electrostática mejoró la eficacia de control en comparación con pulverización convencional: Herzog et al. (1989), Abdelbagi y Adams (1987), Coates y Palumbo (1997), Kabashima et al. (1995), Sopp et al. (1989). Mientras que Palumbo y Coates (1996) y Ebert et al. (2004) no encontraron ventajas con su utilización, pero tampoco desventajas.

Austerweil et al. (2000) en invernaderos tratados mediante nebulizadores fríos obtuvo muy alta eficacia en el control de thrips.

Javed y Mathews (2000) obtuvieron un muy buen control de la mosca blanca de los invernaderos cuando dirigieron la pulverización hacia el envés en comparación con aplicación desde arriba.

### 3.2.7. Metodología de caracterización de los depósitos de pulverización

El uso de trazadores fluorescentes para caracterizar los depósitos fue la técnica más frecuente. Dichos trazadores permiten estudiar los depósitos en forma cualitativa o cuantitativa. El UVITEX OB®, el TINOPAL®, el BLANKOPHOR ® utilizados por varios autores reseñados (Cross et al. 2000; Piché et al. 2000; Derksen et al. 2007) pertenecen a un grupo de productos de uso industrial conocidos como agentes blanqueadores fluorescentes o blanqueadores ópticos. Cuando se ilumina con luz ultravioleta un blanco biológico o artificial tratado con éstos, se produce un gran contraste entre los impactos y el fondo que facilita la observación directa, la adquisición de la imagen, su procesamiento y análisis.

Alm et al. (1987, 1989); Abdelbagi y Adams (1987); Adams y Palmer (1989), agregan al caldo el trazador UVITEX OB® a concentraciones entre 0,5 y 2% para contar directamente la cantidad de impactos por unidad de área foliar. Gan-Mor et al (1996, 2004) utilizan “SATURN YELLOW” para contar impactos. Llamativamente, utiliza la misma técnica para determinar visualmente la tasa de cobertura (porcentaje de área cubierta) lo que no parece posible realizar en forma precisa y menos aún con el pequeño tamaño de gotas empleado por el autor.

La adquisición, procesamiento y análisis de imagen, ya sean obtenidas con sustancias fluorescentes o colorantes, permite extraer más información sobre la estructura del depósito, que la sola densidad de impactos. Rocamora et al. (2002), mediante el uso de blancos de plástico y un quelato de hierro obtienen densidad de impactos y cobertura mediante análisis de imagen. Omar y Mathews (1991), Cooke et al. (1990) Cross et al. (2000),



Piché et al. (2000), Garzón et al. (2000), Sanchez-Hermosilla et al. (2001, 2003) utilizan el análisis de imagen para evaluar densidad de impacto, cobertura y en algunos casos, tamaño de gotas.

Cuando solo se pretende conocer la cantidad de depósito por unidad de superficie, el uso de trazadores fluorescentes (con absorción en el ultravioleta o en el visible) y espectrofluorómetro permiten un nivel de detección muy alto, ( $10^{-9}$ ). La concentración necesaria del trazador en el caldo de pulverización en estos casos suele ser mucho más baja que cuando se pretende obtener una imagen.

Law y Lane (1981), Austerweil et al. (2000), Wigoda y Rietz (1996), Cooke et al. (1990), Van de Zande et al. (2000), Usera et al. (2002), Ebert et al. (2004), Van Os et al. (2005) utilizan titulación mediante espectrofluorometría para cuantificar depósitos de pulverización.

Las tintas fluorescentes son ampliamente aplicadas para cuantificar depósitos de pulverización por la sencillez de su recuperación y titulación. Cai and Stark (1997), utilizan cinco tintas fluorescentes. Tinopal, Eosina, Fluoresceína, Rhodamina B, Brilliant Sulfoflavina (BSF) y trietilfosfato como trazadores atmosféricos de pulverizaciones agrícolas. Evaluaron su utilidad para el uso en ensayos de cuantificación de la deriva, estudiando la fotodegradabilidad de los mismos. Destaca la BSF como la tinta más estable (además de ser cuantificable en bajísimas concentraciones). Recomienda mezclas de BSF con trietil fosfato como adecuada pero con la desventaja de que se requieren dos metodologías diferentes, fluorometría y cromatografía en fase gaseosa. La tinta más fotoestable, luego de la BSF, fue Rhodamina B por lo que recomienda esta mezcla aunque la fotoestabilidad de la Rhodamina B sea menor. De las tintas ensayadas, la que más rápido se degradó fue Tinopal, con una vida media bajo luz solar de 7 minutos.

La Rhodamina WT es mencionada y utilizada mucho en los últimos años debido a la aprobación de la Agencia estadounidense de protección

ambiental (EPA) como trazador en estudios de dinámica del agua superficial y subterránea (Sutton y Kabala 2001). Según los autores, este trazador es útil por su bajo nivel de detección ( $0,1\mu\text{g.l}^{-1}$ ) aunque la presencia de cloro y la luz solar lo degradan rápidamente.

Pergher (2001), estudia el comportamiento de cinco tintas fluorescentes (Baso Red 546, BSF, Fluoresceína, Uvitex OB, Rhodamina B) y siete colorantes no fluorescentes (Amarantho, Reactivo black 5, Patent Blue Violet, Tartrazina, Lisamine Green B, Eritrosina B, y Ponceau4R). Todos los ensayos fueron realizados sobre blancos artificiales de papel. Estudió también la fotoestabilidad colocando los blancos a plena luz y en la oscuridad. Concluye que la tartrazina resultó fácilmente extraíble y fotoestable. Reconoce la necesidad de realizar ensayos de campo y utilizar blancos naturales para evaluar correctamente a las tintas fluorescentes y no fluorescentes estudiadas. Un buen trazador es aquel que puede ser fácilmente extraído de blancos artificiales y naturales, menciona el problema de su degradación y la presencia de sustancias (naturales o artificiales) con propiedades similares al trazador presente en los blancos naturales. Si se pudieran descartar los problemas inherentes a la degradación y a la presencia de pigmentos similares, la cuantificación de los depósitos estaría sólo influenciada por la tasa de recuperación. Sobre blancos naturales (vid), obtuvo tasas de recuperación variable de Tartrazina dependiendo de las variedades, el estado sanitario o si se trataba de haz o envés de hoja. Destaca la necesidad de ajustar la metodología para usar en ensayos de campo con blancos naturales. Los estudios destacan la fotoestabilidad de la BSF.

Barber y Parkin (2003) estudian el ajuste de técnicas para determinar la cantidad de pulverización que llega al suelo. Utiliza blanco natural (suelo) y trazador fluorescente (Tinopal) Opinan que las metodologías basadas en blancos artificiales están sujetas a gran variabilidad y también a sesgos provocados por el operador durante la colocación de los blancos. Según el autor, el operario modifica la geometría del cultivo por mover el follaje

durante la colocación. La menor variabilidad obtenida con blancos artificiales es debida al sesgo naturalmente inducido al colocar los blancos.

El uso de colorantes y su titulación mediante espectrofotometría también fue utilizado por varios autores: Lee et al. (2000), Derksen y Sanderson (1996), Palumbo y Coates (1996). En este caso, el nivel de detección no es tan bajo ( $10^{-6}$ ) y la concentración necesaria del colorante suele ser mayor que en el análisis de fluorescencia. Sánchez-Hermosilla et al. (2005, 2007) utilizan tres colorantes diferentes aplicados sobre las mismas unidades experimentales para evaluar técnicas de aplicación, disminuyendo el efecto de la variabilidad del material vegetal.

Otro tipo de trazadores bastante utilizados son los quelatos metálicos. Su titulación mediante espectrometría de masa permite detectar simultáneamente más de un ión metálico de una misma muestra, disminuyendo los problemas que la variabilidad del material vegetal implica (Nuyttens, 2004). De cualquier manera, al igual que con el uso de trazadores fluorescentes, se debe ajustar cuidadosamente la técnica de extracción ya que la cantidad recuperada puede verse afectada por la variedad, intensidad y tiempo de lavado, el solvente, el catión utilizado y el contenido previo de la muestra (Ortí et al., 2005).

#### **4. ENCUESTA DE TECNOLOGÍAS DE APLICACIÓN UTILIZADAS EN INVERNADEROS DEL LITORAL NOROESTE DE URUGUAY**

##### **4.1. OBJETIVOS**

Conocer la metodología utilizada en las aplicaciones en invernaderos por productores del litoral noroeste del Uruguay.

##### **4.2. MATERIALES Y METODOS**

El trabajo consistió en una encuesta sobre técnicas de aplicación usuales en invernaderos de la zona norte (alrededores de la ciudad de Salto). Se realizó en 40 predios equivalente a una superficie total de 44,6 ha cubiertas con invernaderos. La superficie de cultivos en invernaderos en la zona era de aproximadamente 230 hectáreas. La encuesta abarcó cerca del 20 % de la superficie cubierta con invernaderos en el área objetivo.

En una primera etapa de la encuesta se consultó sobre las técnicas más utilizadas, los equipos y el volumen de aplicación. En una segunda etapa, se procedió a caracterizar la calidad de aplicación en algunos de los predios encuestados, con el objetivo de observar la deposición de gotas sobre tarjetas sensibles y medir los gastos reales para compararlos con los declarados por el productor.

##### **4.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

###### **4.3.1. Forma y dimensiones de los invernaderos**

Todos los invernaderos destinados a la horticultura en Uruguay son construidos con madera de eucalipto y polietileno. La madera en Uruguay es el material más económico, no existen yacimientos de hierro y todo lo metálico es importado. El arreglo de la plantación dentro de los invernaderos se debe hacer de tal forma de que se “sorteen” las filas de

columnas colocadas en el interior. Las columnas son además el sostén de los alambres encargados de soportar el peso de los cultivos entutorados.

Los invernaderos construidos en Uruguay por su forma son de dos tipos, capillas y poligonales (figuras 2, 3 y 4).



Figura 2. Invernadero tipo capilla simple

Los llamados capillas simples, son estructuras a dos aguas con o sin abertura cenital. Su ancho varía entre 20 y 24 m, y el largo es variable. La altura es de 2 m en los costados y 4,5 m al centro. Las cortinas laterales se suben o bajan manualmente para regular las condiciones de temperatura y humedad interiores. Poseen una protección perimetral de 0.5 m de alto que impide la entrada de agua de lluvia y proporcionan un cierre bastante hermético cuando se bajan las cortinas.



Figura 3: Capilla múltiple con abertura cenital

En las capillas múltiples cada unidad tiene 10 a 15 m de ancho y la altura central es de 3,5 m. En la unión se construye un canal de polietileno con caída hacia los dos extremos.



Figura 4: Invernadero poligonal

El ancho de los invernaderos poligonales es de 24 a 30 m, alto máximo 4,5 m y altura lateral 2 m. La curvatura asegura mayor firmeza del polietileno contra la estructura de sostén.



Figura 5: Arreglo de la plantación en canteros con filas dobles

La plantación se realiza en canteros (mesetas) casi siempre con dos filas, en tomate o pimiento aunque con el último también se suele plantar una sola fila conduciendo luego las planta en dos planos verticales. La distancia típica entre canteros es de 1,6 m, variando entre 1,5 a 1,8 m. La orientación de los canteros es norte sur, de forma de que las plantas reciban iluminación de ambos lados.

Siempre se trata de que los canteros no superen los 30 m de largo, ya que de esa forma, al abrir las cortinas, se logra una buena ventilación hasta el centro del invernadero. El cultivo siempre es en suelo, con riego y fertirrigación por goteo. Se aprovecha toda el área cubierta para el cultivo sin dejar caminos centrales ni laterales. Cuando los cultivos alcanzan su máximo desarrollo, el espacio interfilar queda reducido a unos 0.5 m para las tareas de mantenimiento del cultivo y recolección.

#### 4.3.2. Equipos de aplicación utilizados

Cuadro 1. Equipo principal utilizado por el productor en su predio

Equipo principal	Nº de predios
Tanque con mangueras y pistola accionado por tractor	23
Pulverizadora de barras con mangueras y pistolas	13
Mochila convencional	1
Mochila neumática	1
Tanque plástico con bomba centrífuga eléctrica y mangueras	2

Como se observa en el cuadro 1, salvo una excepción, la principal técnica de aplicación es la pulverización hidráulica en todas sus variantes. El uso de mochila convencional como principal equipo se presentó en un solo predio relativamente pequeño (2300 m<sup>2</sup> cubiertos). El uso de mochila neumática se observó en un solo predio encuestado con 6.000 m<sup>2</sup> cubiertos.

Cuadro 2. Otros equipos utilizados en forma complementaria o esporádica.

Equipo	Nº de predios
Mochila convencional	13
Pulverizadora de barras con mangueras y pistolas	3
Mochila neumática	3
Termonebulizador	6

En forma complementaria, muchos productores utilizan la mochila convencional. Está asociada a pequeñas superficies y/o estadios iniciales del cultivo. Aparecen también los termonebulizadores como equipo auxiliar. Pero, de los seis identificados, uno solo es utilizado en aplicaciones para control de insectos. Los otros cinco están en desuso.

La técnica de aplicación más difundida en la muestra fue la pulverización hidráulica, alcanzando al 97 % de los establecimientos. Los equipos



principalmente utilizados fueron el tanque y la pulverizadora hidráulica dotados de mangueras y pistolas.

#### 4.3.3. Volumen de aplicación

Para la encuesta, se preguntó al propietario sobre el volumen de caldo que gastaba en invernaderos con cultivos de tomate de superficie conocida, diferenciando tres estadios en el desarrollo del cultivo:

- Antes del entutorado, altura del cultivo 0,2-0,3m
- Después del entutorado, altura 0,5-0,7 m
- Desarrollo completo, 2 m de altura

El dato más conocido por los productores era el volumen de aplicación a pleno desarrollo. El volumen antes del entutorado aparece como conocido con menor frecuencia. El volumen después del entutorado sólo era conocido por 10 de los encuestados.

Cuadro 3. Volumen de aplicación declarado en diferentes etapas de desarrollo del cultivo de tomate ( $l \cdot ha^{-1}$ ).

Estadístico	pre entutorado	pos entutorado	pleno desarrollo
Media	585	892	1307
Mediana	527	817	1157
Moda	400	400	1000
Mínimo	267	400	600
Máximo	1361	2083	4166
Nº	34	10	38
CV%	39%	56%	48%

El 92 % de los encuestados declara utilizar entre 800 y 2000  $l \cdot ha^{-1}$ . En dos predios (2 en 40), el productor manifestó no tener conocimiento del volumen de aplicación.

En el cuadro 4, se observa un valor modal de 1000 l.ha<sup>-1</sup>. Las tasas de aplicación cercanas a este valor son las observadas en los predios más tecnificados y de mayor superficie cubierta. Los valores excepcionalmente altos (> 2000 l.ha<sup>-1</sup>), se dan en los predios más pequeños y menos tecnificados.

El volumen de aplicación declarado antes del entutorado es aproximadamente la mitad de aquel utilizado en pleno desarrollo. La dispersión observada está igualmente asociada a las características de los establecimientos involucrados. En forma promedio, la tasa de aplicación declarada por los productores varía entre 600 y 1300 l.ha<sup>-1</sup> en función del desarrollo del cultivo

#### 4.3.4. Volumen de aplicación medido

Cuadro 4. Volumen medido y declarado por el productor

Pedio	l.min <sup>-1</sup>	km.h <sup>-1</sup> (*)	l.ha <sup>-1</sup> declarado	l.ha <sup>-1</sup> medido	diferencia %
1	3,96	5,40	961	550	75
2	3,13	2,95	950	794	20
3	3,84	4,67	870	617	41
4	2,76	2,47	950	838	13
5	3,00	2,01	1000	1120	-11
6	5,00	3,65	833	1027	-19
7	4,06	2,30	1000	1320	-24
8	4,06	2,30	946	1320	-28
9	2,98	4,94	400	452	-12

(\*): Velocidad de avance del operario aplicador.

La diferencia entre volumen declarado y medido es siempre mayor a 10 %. El método manual de aplicación es de por sí bastante variable debido a la imposibilidad de fijar la velocidad de avance del operario. Las diferencias entre el volumen de aplicación declarado y el medido en la muestra variaron

entre +75 % y - 28 %. Solo 4 de los nueve productores tuvieron diferencias menores al 20 % entre ambos volúmenes

Deben tomarse con cuidado éstas diferencias ya que el productor puede haber declarado un gasto medio y el ensayo haberse realizado con menor gasto por algún motivo puntual (deshoje, tipo de producto, etc.) De cualquier manera, debe considerarse que los nueve predios en los cuales se realizaron las mediciones pueden considerarse como pertenecientes a productores de avanzada. A nivel general serían de esperar en promedio resultados peores. Llama la atención la variabilidad de gasto de las pistolas y la velocidad de aplicación, lo que demuestra la baja estandarización de equipos y procedimientos.

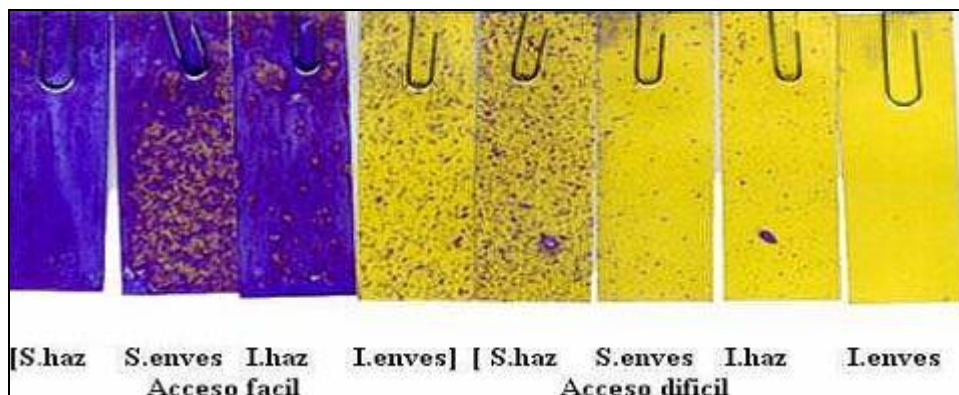


Figura 6. Distribución típica de gotas con aplicación hidráulica de alto volumen en tomate.

Para visualizar el recubrimiento obtenido, se colocaron tarjetas hidrosensibles a ambos lados de las hojas en la parte superior (S) e Inferior (I), en lugares fácil y difícilmente asequibles por la pulverización (lado exterior e interior de la planta). En la figura 6 se observa un ejemplo de un tratamiento convencional realizado con  $1030 \text{ l.ha}^{-1}$ . Se observa sobredosificación y chorreado en el haz de las posiciones de acceso fácil tanto en la parte superior como inferior, como dificultades para la llegada al envés sobretodo en la parte inferior de la planta. Similares observaciones fueron realizadas en los nueve predios en que se realizó esta caracterización.

## **5. OPTIMIZACION DE LA CONFIGURACION DE BARRAS VERTICALES DE APLICACIÓN MANUAL**

### **5.1. OBJETIVOS ESPECIFICOS**

Evaluar el efecto de diferentes tasas de aplicación, tamaños de gotas y orientación de boquillas en la cobertura de dos cultivos de tomate en invernadero con barras verticales de aplicación manual.

Se llevaron a cabo dos ensayos:

- Ensayo A: tuvo como objetivo específico la evaluación del efecto de la tasa de aplicación y el tamaño de gotas con el uso de barra vertical en un cultivo tomate cultivado en hilera simple.
- Ensayo "B": el objetivo específico fue la evaluación del efecto de la orientación 45° hacia arriba de boquillas de abanico plano en comparación a la orientación horizontal. El mismo fue realizado en un cultivo plantado en hileras dobles.

### **5.2. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **5.2.1. Calificación y cuantificación de la cobertura sobre el follaje**

La determinación de la distribución del caldo se realizó mediante el análisis del depósito directamente sobre las hojas de los cultivos.

Para ello, las aplicaciones se realizaron con agua y el agregado del trazador fluorescente BLANKOPHOR BA 267%® al 1%. Luego de los tratamientos, se extrajeron muestras de diferentes alturas y profundidades.

Las variables experimentales fueron la cobertura en el haz y en el envés. La misma se evaluó mediante dos metodologías. En primer lugar, se calificó la cobertura mediante una escala de cinco niveles adaptada de la utilizada por Palladini (2000) según la siguiente descripción:

Cuadro 5. Escala de calificación de cobertura

Escala	Descripción
1	Densidad muy baja o nula o con muy pocos impactos irregularmente distribuidos
2	Densidad baja
3	Densidad media
4	Densidad de impactos alta en toda la hoja
5	Densidad alta en toda la hoja con escurrimiento y coalescencia

La evaluación visual de la cobertura se realizó mediante la iluminación de las muestras con luz negra (UVA o ultravioleta cercano) en sala oscura, y observación directa bajo microscopio estereoscópico de toda la hoja.

Para la cuantificación de la cobertura, se procedió a fotografiar las hojas bajo iluminación con luz negra en el haz y en el envés. La iluminación se realizó mediante una lámpara de bajo consumo fluorescente de luz negra de 15 W. No se pudo disponer de información exacta sobre la longitud de onda emitida. Su utilización permitió tomar imágenes de buena calidad para su procesamiento.

Se utilizó una cámara digital Nikon Coolpix E990 fijada en un trípode a 5 cm de altura sobre el objetivo. Se seleccionó el modo manual con un tiempo de exposición de 0,25 s, apertura de obturador 4,0, modo macro en alta calidad (600 dpi) y sensibilidad ISO 400. Todas las hojas fueron fotografiadas en el haz y en el envés. Las imágenes fueron obtenidas en todos los casos de la parte central de las hojas con un tamaño de 20x27 mm<sup>2</sup>. La metodología usada fue similar a la utilizada por Coates y Palumbo (1997)

Imagen original



Canal verde de  
la imagen original.

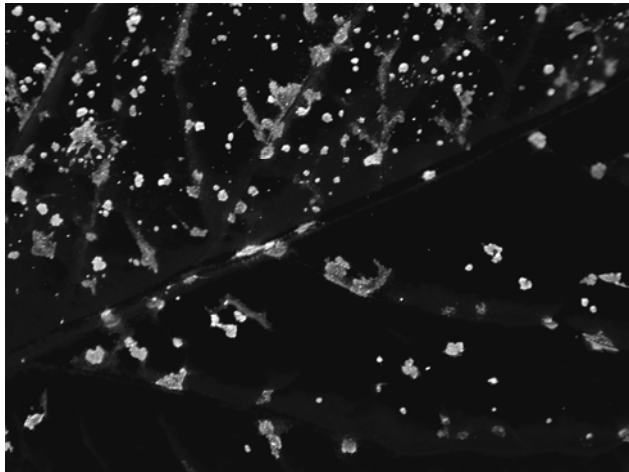


Imagen binarizada para  
su análisis.

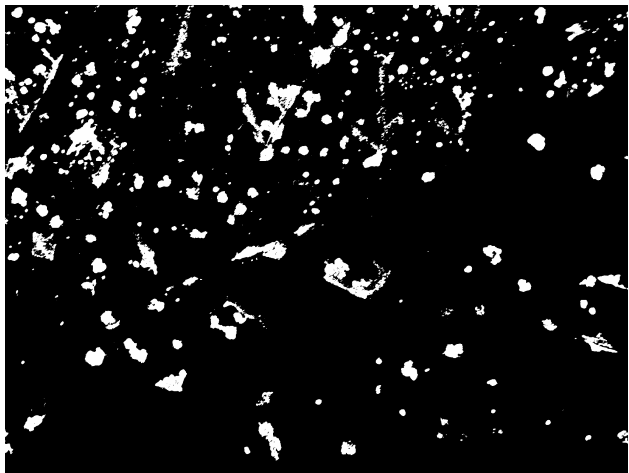


Figura 7. Imagen obtenida bajo luz negra y su procesamiento

El análisis de las imágenes obtenidas se realizó en dos etapas. En primer lugar, se procedió a separar los tres canales rojo verde y azul con el programa Corel PHOTO-PAINT 11. Se conservó el canal verde con el cual se obtuvo la mejor diferenciación de las manchas del trazador y las hojas. Luego se binarizó cada imagen mediante la selección del umbral en forma manual.

No se aplicó ninguna otra operación de procesamiento de las imágenes. Cada imagen se analizó con el programa Matrox Inspector 2.2 obteniendo la superficie de manchas y fondo en el haz y envés de cada hoja lo que permitió calcular la proporción cubierta. En la figura 7 se puede observar una muestra del resultado obtenido.

La cobertura se calculó como la proporción de la superficie cubierta por la pulverización en relación a la superficie de la hoja evaluada. Píxeles blancos dividido total de píxeles de la muestra.

En todos los ensayos que se describen más adelante, se utilizó la misma metodología experimental para la calificación y la cuantificación de la cobertura.

### **5.2.2. Ensayo A**

Se realizó en un invernadero de tomates de 700 m<sup>2</sup>. El cultivo estaba plantado en hileras simples distanciadas a 1,5 m. La altura del cultivo al momento del ensayo era de 1,8 m. La distancia entre plantas era de 0,3 m determinando una población de 22.000 plantas.ha<sup>-1</sup>. Las aplicaciones se realizaron por ambos lados del cultivo.

La barra de aplicación se construyó con cinco portaboquillas distanciados entre sí a 0,35 m, con boquillas de 80° de apertura. Esta distancia fue la que logró mayor homogeneidad de los depósitos en cultivos de tomate en invernaderos en el Sur de España (Nuyttens et al., 2004).

Se colocó un manómetro calibrado previamente en la empuñadura de la misma para controlar la presión de operación. Se utilizó una pulverizadora tipo carretilla con manguera colocada en el exterior del invernadero. Todas las boquillas evaluadas fueron de la marca Spraying Systems Co<sup>®</sup>.

Las boquillas fueron de abanico plano y cono hueco con caudal nominal de 1,14, 0,57 y 0,25 l.min<sup>-1</sup> (modelos XR8003VK, XR80015VK, TXA 80067VK). Las boquillas, presión y velocidad de desplazamiento fueron seleccionadas a efectos de obtener diferentes combinaciones entre tasa de aplicación y tamaño de gotas. La utilización de una boquilla de cono hueco fue necesaria para obtener el tamaño de gotas más fino que fuera definido.

Los tratamientos fueron identificados con dos letras correspondiendo la primera, a la tasa de aplicación y la segunda, al tamaño de gotas:

- Tasa de aplicación: A = alta; B= baja. Aproximadamente 1000 y 500 l.ha<sup>-1</sup> respectivamente.
- Tamaño de gotas: G=gruesa; M= media; F= muy fina (según norma ASAE S-572).

Cuadro 6. Barra vertical, tratamientos evaluados ensayo A.

trat.	tasa de aplicación		presión (bar)	boquillas	dmv** (µm)	velocidad de aplicación	
	pretendida ( l.ha <sup>-1</sup> )	real ( l.ha <sup>-1</sup> )				pretendida (km.h <sup>-1</sup> )	real (km.h <sup>-1</sup> )
AG	930	1095	1,5	XR8003	345	4,1	3,5
----*	465	*	1,5	XR8003	345	8,2	*
AM	930	930	4	XR80015	220	2,91	2,9
BM	465	517	4	XR80015	220	5,83	5,3
AF	930	877	10	TXA80067	98	1,93	2,1
BF	465	473	10	TXA80067	98	3,86	3,8

\* No se pudo realizar, excesiva velocidad para aplicación manual

\*\* Datos del fabricante.



A efectos de estimar el área foliar, se procedió a extraer las hojas de una planta representativa del cultivo. Las mismas fueron digitalizadas mediante un escáner de mesa y su área determinada mediante el Programa Matrox Inspector 2.2. El área foliar de esa planta fue de 16.352 cm<sup>2</sup>, estimándose un IAF (índice de área foliar) de 3,59.

Luego de los tratamientos se extrajeron 3 muestras de 10 folíolos a tres alturas del cultivo (A= alta, M= media, B= baja). Las variables experimentales fueron la proporción cubierta (en el haz y en el envés) y la calificación de la cobertura.

### 5.2.3. Ensayo B

Fue realizado en un invernadero con un cultivo de tomate plantado en canteros con filas dobles. La altura media de las plantas era de 1,37 m, la población 37.500 plantas por hectárea. El ancho de vegetación a una altura media fue de 0,8 m. El IAF resultante fue 4,48. Las aplicaciones se realizaron por ambos lados del cultivo.

Cuadro 7. Barra vertical, tratamientos evaluados ensayo B.

trat.	<u>tasa de aplicación</u>		presión (bar)	boquillas	dmv* (µm)	<u>vel. de aplicación</u>	
	pretendida (l.ha <sup>-1</sup> )	real (l.ha <sup>-1</sup> )				pretendida (km.h <sup>-1</sup> )	real (km.h <sup>-1</sup> )
0°	450	416	4	XR80015	220	4,53	4,90
45°	450	484	4	XR80015	220	4,53	4,23

\* Datos del fabricante.

Se construyó una segunda barra vertical similar a la anteriormente descrita dotándola de porta boquillas orientables (Figura 8).



Figura 8. Barra vertical con boquillas orientables y boquillas horizontales

#### **5.2.4. Evaluación de la cobertura sobre el follaje**

La evaluación de la cobertura fue evaluada mediante análisis de imagen según metodología descrita anteriormente. Se extrajeron muestras de tres alturas igual que en ensayo anterior. Por estar en doble fila, se extrajeron muestras del exterior (E) y del interior (I) del follaje. Se obtuvieron diez observaciones por cada altura para cada tratamiento por parcela.

#### **5.2.5. Diseño experimental y procedimiento de análisis estadístico de los resultados**

En los ensayos A y B, el diseño experimental fue de parcelas al azar con tres repeticiones. Todos los análisis fueron realizados con el programa SAS 9.0. Los procedimientos de análisis fueron seleccionados y adaptados para cada experimento, según la naturaleza y distribución de la variable en estudio.

El análisis cuantitativo de la cobertura (proporción cubierta) se realizó mediante el procedimiento MIXED con estimación de componentes de varianza y covarianza por el método de Máxima Verosimilitud Restringida (REML)

La separación de medias se realizó mediante el test de Tukey Kramer Diferencias entre medias con probabilidad de error tipo I mayores al 5 % fueron consideradas iguales y se presentan seguidas por la misma letra.

La calificación de la cobertura fue evaluada mediante el procedimiento Genmod con distribución multinomial y función de enlace Logit acumulada. La comparación de medias se realizó mediante la prueba de comparación de razones de verosimilitud. Diferencias entre medias con probabilidad de error tipo I mayores al 5 % fueron consideradas iguales según la prueba  $\chi^2$

### 5.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 5.3.1. Ensayo A

Se observaron diferencias de cobertura entre tratamientos y alturas. La interacción tratamiento\*altura también fue estadísticamente significativa.

La cobertura en el haz es consistentemente mayor que en el envés para todos los tratamientos (cuadro 8). Esa diferencia se acentúa con menores tasas de aplicación. Este resultado coincide con los obtenidos por Lee et al. (2000), aunque las tasas por ellos utilizadas fueron mucho mayores, de 700 a 4200 l.ha<sup>-1</sup>.

Cuadro 8. Barra vertical. Efecto del tratamiento y la altura en la proporción cubierta en haz y envés.

Factor	Proporción cubierta		
	Haz	Envés	
trat	AG	0,536 a	0,072 a
	AM	0,484 ab	0,083 a
	BM	0,463 ab	0,050 a
	AF	0,526 ab	0,090 ab
	BF	0,408 b	0,018 b
altura	Bajo	0,563 a	0,051 ab
	Medio	0,497 a	0,046 b
	Alto	0,391 b	0,092 a

Nota: Medias seguidas por la misma letra no difieren entre sí con  $p < 0,05$  (apartado 5.2.5.)

Nuyttens et al. (2004a), observó en tomate una relación entre los depósitos de ambos lados de las hojas de 7,3 a 13,8, rango dentro del que están casi todos los resultados de este ensayo.

El tratamiento de baja tasa de aplicación y gotas muy finas (BF) presentó menor cobertura. La pulverización con gotas muy finas, por consideraciones

geométricas, debería producir mayor cobertura que volumen de aplicación similar y gotas de mayor tamaño.

Este resultado puede relacionarse con la poca distancia que pueden alcanzar las gotas pequeñas en condiciones de ausencia de viento. Según Holterman (2003), la distancia máxima que pueden alcanzar las gotas de 100  $\mu\text{m}$  cuando son lanzadas horizontalmente a 10  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  y 20  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  son de 0,13 m y 0,2 m respectivamente. Esto estaría indicando que buena parte de las gotas producidas en este tratamiento se detendrían antes de alcanzar al cultivo.

En forma general, se observa que los tratamientos de bajo volumen obtuvieron coberturas similares a los de alto volumen (500 y 1000  $\text{l}\cdot\text{ha}^{-1}$  aproximadamente). A igualdad de dosis de fitosanitario por unidad de superficie, los de bajo volumen lograrían el doble de concentración del depósito. Este resultado podría estar explicando la mayor eficacia biológica obtenida por Jacques et al. (2003) con pistolas de menor volumen de aplicación y tamaño de gotas. Consideraciones similares habían sido realizadas por Rocamora et al. (2002), quienes encontraron una disminución de cobertura menor que la reducción de tasas de aplicación utilizadas.

Con respecto a la altura, la menor cobertura en haz del ápice (altura A) parece indicar una insuficiente altura de la barra utilizada. Sin embargo, la mayor cobertura en el envés indica la mayor facilidad de alcance por menor tamaño, densidad foliar y la trayectoria del pulverizado.

En el cuadro 9 se observan los términos de la interacción tratamiento\*altura. Llama la atención algún valor como la alta cobertura en el haz del tratamiento con bajo volumen y gotas muy finas (BF) de 60 % mientras que en la parte alta solo alcanza el 22 %

Cuadro 9. Barra vertical. Proporción cubierta.  
(Interacción Tratamiento – Altura).

Proporción cubierta			Proporción cubierta		
Trat.	Altura	Haz	Trat	Altura	Envés
AF	M	0,645 a	AM	A	0,138 ab
BF	B	0,602 a	AF	B	0,131 abcd
AG	A	0,585 a	AG	A	0,128 a
BM	B	0,574 a	AF	A	0,109 abcd
AG	B	0,559 a	AM	M	0,076 abcd
AF	B	0,553 a	BM	M	0,064 abc
BM	M	0,548 a	BM	A	0,063 abc
AM	B	0,527 ab	AG	M	0,046 abcd
AM	A	0,498 ab	AG	B	0,042 bcd
AG	M	0,466 abc	AM	B	0,036 abcd
AM	M	0,429 abc	AF	M	0,029 abcd
BF	M	0,397 abc	BM	B	0,024 cd
AF	A	0,381 abc	BF	A	0,022 cd
BM	A	0,266 bc	BF	B	0,022 cd
BF	A	0,225 c	BF	M	0,010 d

Nota: Medias seguidas por la misma letra no difieren entre sí con  $p < 0,05$  (apartado 5.2.5.)

Cuadro 10. Calificación de la cobertura

		Calificación	
Factor		Haz	Envés
	AG	4,83	2,37 b
	AM	4,97	3,03 a
trat	BM	4,87	2,47 b
	AF	4,77	2,27 b
	BF	4,83	1,43 c
	Bajo	4,92	1,86 a
altura	Medio	4,90	2,38 b
	Alto	4,74	2,68 b

Nota: Medias seguidas por la misma letra no difieren entre sí con  $p < 0,05$  (apartado 5.2.5).  
Calificación según escala predefinida (apartado 5.2.1.)

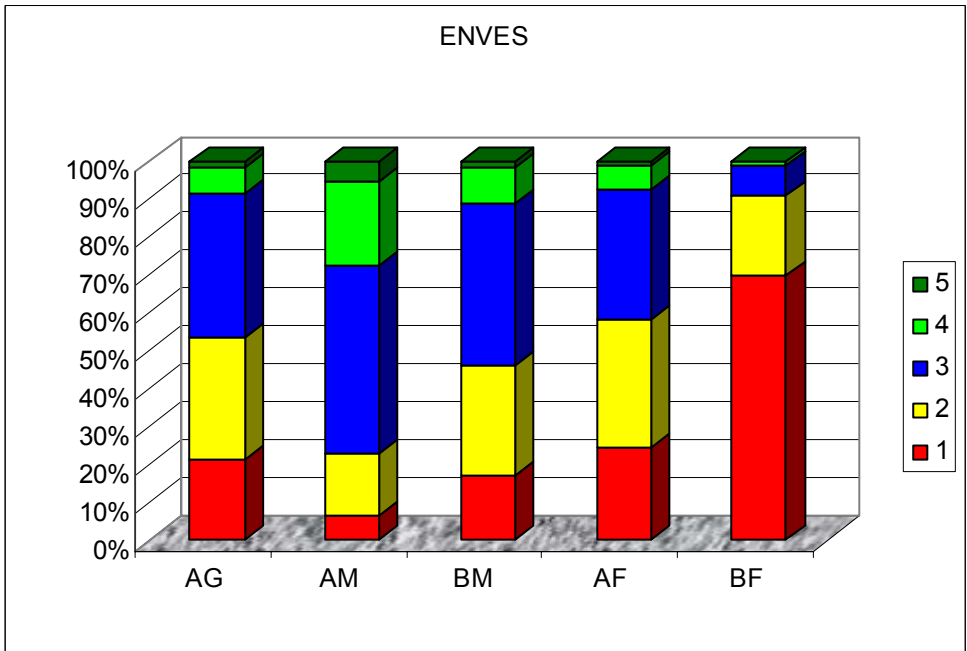
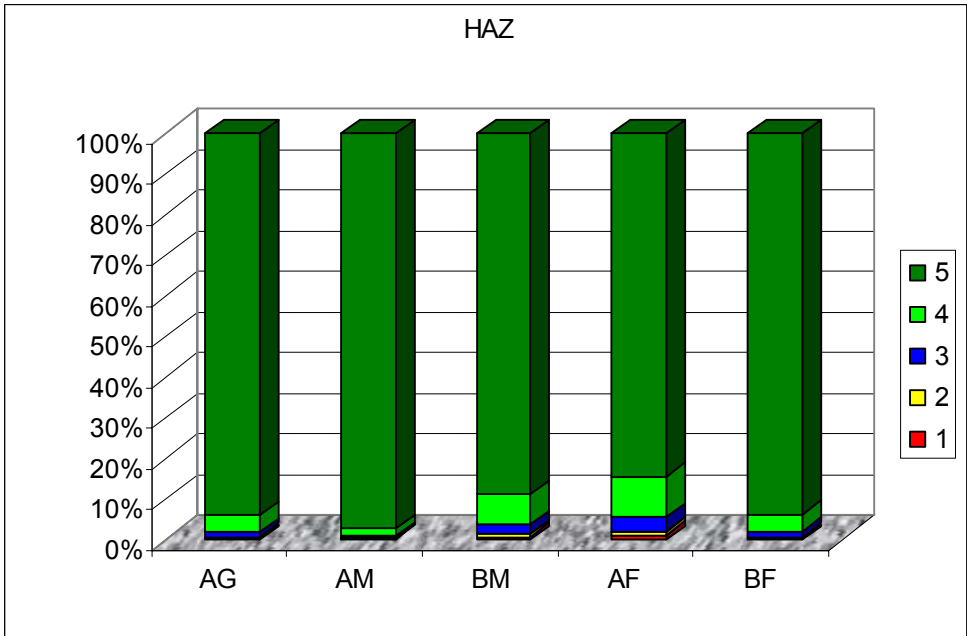


Figura 9. Probabilidad de obtención de niveles de calificación de cobertura

En la Figura 9, la calificación del haz muestra una alta frecuencia de valores de buena cobertura (niveles 4 y 5) para todos los tratamientos,

mientras que en el envés, los valores más frecuentes corresponden a niveles de cobertura menos satisfactorios (niveles 1, 2 y 3).

El análisis estadístico de la calificación de cobertura del haz realizado según escala definida (ver apartado 5.2.1), no permitió detectar diferencias entre tratamientos. En el envés las diferencias son muy similares en la calificación y en el análisis de la proporción cubierta. La peor calificación en el envés fue obtenido con bajo volumen y gotas muy finas (cuadro 10).

Los resultados obtenidos tienen coincidencias con los de Sánchez – Hermosilla et al. (2003). Los autores utilizaron boquillas Teejet® de abanico plano (9501 EVS) y cono hueco (TXA 8001VK) a 15 bar de presión. En estas condiciones (según el fabricante), las boquillas de cono hueco producen gotas con un DMV cercano a 110  $\mu\text{m}$ , similar a los dos tratamientos con gotas muy finas de éste ensayo (trats. BF y AF). En la comparación de las boquillas, encuentran que la cobertura y penetración obtenida con las boquillas de gota más pequeñas (cono hueco, DMV  $\approx$  100) son menores que con la boquilla de abanico plano homogéneo. Otra similitud en los resultados fue que la cobertura aumentó con la tasa de aplicación utilizada (500, 750 y 1000 l.ha-1)



### 5.3.2. Ensayo B

Cuadro 11. Efecto de la orientación de las boquillas en la proporción cubierta.

Factor		Proporción cubierta	
		Haz	Envés
trat	0°	0,228	0,015 b
	45°	0,215	0,051 a
profundidad	Exterior	0,307 a	0,050 a
	Interior	0,136 b	0,016 b
altura	Bajo	0,160 b	0,039
	Medio	0,311 a	0,034
	Alto	0,194 b	0,026

Nota: Medias seguidas por la misma letra no difieren entre sí con  $p < 0,05$  (apartado 5.2.5.)

En este cultivo de tomate con hileras dobles, se observa la dificultad de penetración de las gotas en el interior, aún cuando las aplicaciones se realizan por ambos lados. Se observó mayor cobertura en el envés con las boquillas inclinadas hacia arriba, no así en el haz donde las coberturas no se diferenciaron (cuadro 11).

La interacción tratamiento\*altura y tratamiento\*posición fueron estadísticamente significativas en el haz, pero no en el envés, donde la cobertura en general fue menor. En los cuadros 12 y 13 se observa la cobertura de haz y envés para las combinaciones de esos factores.

La cobertura lograda por las combinación de los factores tratamiento y posición, indica que el tratamiento con boquillas inclinadas es más homogéneo en el haz. En el tratamiento con boquillas horizontales, la cobertura en el haz es menor en el interior de la fila. Los resultados coinciden con Lee et al. (2000) en cuanto a la mayor homogeneidad haz/envés con boquillas a 45° hacia arriba. Los resultados aquí obtenidos también coinciden con los de Sánchez-Hermosilla et al. (2007) quienes

habían encontrado mayor deposición en el envés con la inclinación de las boquillas hacia arriba.

Cuadro 12. Barra vertical. Interacción Tratamiento\*Altura.

Trat	Altura	Proporción cubierta	
		Haz	Envés
0°	Bajo	0,231 ab	0,001
0°	Medio	0,257 ab	0,027
0°	Alto	0,197 ab	0,019
45°	Bajo	0,365 a	0,078
45°	Medio	0,191 ab	0,042
45°	Alto	0,090 b	0,032

Nota: Medias seguidas por la misma letra no difieren entre sí con  $p < 0,05$  (apartado 5.2.5.)

Cuadro 13 Barra vertical. Interacción Tratamiento\* Profundidad.

Trat	Posición	Proporción cubierta	
		Haz	Envés
0°	Exterior	0,360 a	0,017
0°	Interior	0,096 c	0,014
45°	Exterior	0,254 ab	0,083
45°	Interior	0,176 bc	0,018

Nota: Medias seguidas por la misma letra no difieren entre sí con  $p < 0,05$  (apartado 5.2.5.)

La baja deposición obtenida en el envés, coincide con los resultados de Garzón et al. (1998), quien en pimiento plantado a doble fila obtiene coberturas de 0,58%, 2,64% y 5,26% en la parte baja, media y alta respectivamente con gastos de 1300 y 2300 l.ha<sup>-1</sup>.

Cuadro 14. Barra vertical. Calificación de la cobertura

Factor		Calificación	
		Haz	Envés
trat	0°	4,2	1,8
	45°	4,0	2,0
posición	Exterior	4,7 a	2,0
	Interior	3,5 b	1,7
altura	Bajo	3,6 a	1,5 a
	Medio	4,5 b	1,9 a
	Alto	4,1 b	2,2 b

Nota: Medias seguidas por la misma letra no difieren entre sí con  $p < 0,05$  (apartado 5.2.5). Calificación según escala predefinida (apartado 5.2.1.)

La menor calificación de la cobertura en la posición interior nos indica la dificultad de lograr penetración al igual que en la proporción cubierta determinada mediante análisis de imagen.

## **6. OPTIMIZACION DE LAS APLICACIONES EN INVERNADERO MEDIANTE EVALUACIÓN DE LA DISTRIBUCION Y EL CONTROL DE MOSCA BLANCA EN UN CULTIVO DE TOMATE**

### **6.1. OBJETIVOS**

Evaluar la calidad de distribución y la eficacia de control de mosca blanca (*Trialeurodes vaporariorum* W.) con diferentes métodos de aplicación en un invernadero de tomate.

### **6.2. MATERIALES Y MÉTODOS**

El ensayo se llevó a cabo en un predio cercano a la ciudad de Montevideo. Se desarrolló desde noviembre hasta mediados de enero, fecha en que el productor dio por finalizado el ciclo del cultivo. Las dimensiones del invernadero eran de 52 m de largo y 16,70 m de ancho. El cultivo estaba plantado en canteros con filas simples y dobles alternadas, arreglo éste poco frecuente en las condiciones locales. Todas las evaluaciones fueron realizadas en los canteros con filas dobles. La población fue determinada mediante conteos de plantas cada 10 m de fila y medidas de la distancia interfilar. La población resultante fue de 37.500 plantas por hectárea. Las aplicaciones se realizaron por los dos lados de los canteros al igual que las aplicaciones habituales.

Al inicio del ensayo se procedió a determinar las dimensiones del cultivo y su área foliar. Se tomaron 20 plantas al azar en canteros con filas dobles determinándose una altura media de 1,37 m. De la misma forma, el ancho de vegetación a un metro de altura fue de 0,8 m. Para determinar el área foliar se procedió a extraer todas las hojas de una planta representativa del cultivo según metodología ya descripta

### 6.2.1. Tratamientos evaluados

En el predio donde se realizó este ensayo, las aplicaciones eran siempre realizadas mediante mochila de pulverización neumática. La elección de los tratamientos tuvo como objeto evaluar otras tecnologías de aplicación y una pulverización convencional de alguna forma contrastante.

Cuadro 15. Tratamientos evaluados

Tratamiento	Descarga l.min <sup>-1</sup>	Tasa de aplicación* l.ha <sup>-1</sup>	Descripción
PC	2,8	1000	pulverización hidráulica de alto volumen
ESS-	0,45	170	pulverización neumática de bajo volumen sin carga electrostática
ESS+	0,45	170	pulverización neumática de bajo volumen con carga electrostática
PN	0,8	500	pulverización neumática con mochila (tratamiento utilizado por el productor)

\*Tasa de aplicación media durante el ensayo

ESS+ y ESS- : Pulverización neumática de bajo volumen con y sin carga electrostática.( Figura 14). El equipo utilizado en los dos tratamientos fue un pulverizador neumático electrostático modelo GPS5K, marca ESS (Electrostatic Sprayer Systems Inc). Para el tratamiento ESS-, se extrajo la batería que permite la carga electrostática de las gotas.

PN: Tratamiento de pulverización neumática con mochila marca Solo Modelo 444

PC: El tratamiento convencional se realizó con una pulverizadora de carretilla con manguera y pistola. Se colocó un disco de cerámica de 1,2 mm. La pistola se operó a 10 bar de presión. No se dispuso información sobre el tamaño de gotas producido.

A los efectos de evaluar la calidad de distribución, se dividió el mismo en cuatro grandes parcelas de 217 m<sup>2</sup> asignando un tratamiento al azar a cada una de ellas. Las evaluaciones biológicas fueron posteriormente realizadas sobre las mismas parcelas.

### **6.2.2. Evaluación de la cobertura sobre el follaje**

La determinación de la cantidad de producto depositado en el follaje se realizó mediante aplicación de agua con el trazador fluorescente BLANKOPHOR BA 267%® al 2%.

Las muestras de hojas se extrajeron de los canteros a doble fila por representar la mayor dificultad de penetración. En cada parcela se extrajeron muestras de hojas a tres alturas (B: baja, M: media y A: alta), tanto de la parte exterior expuesta (E) como la interior (I) entre las dos filas. Se obtuvieron diez muestras por cada combinación de factores.

Las hojas fueron fotografiadas y analizadas según metodología descrita en apartado 5.2.1.

### **6.2.3. Aplicaciones realizadas**

Los tratamientos fueron los indicados por el técnico asesor. Se mantuvo constante la cantidad de ingrediente activo por unidad de superficie mediante la concentración diferencial en función de la tasa de aplicación utilizada en cada tratamiento. Fueron realizados cinco tratamientos para el control de plagas y enfermedades (cuadro 16)

Cuadro 16. Fechas de aplicación y productos utilizados

Día	Fecha	Nombre comercial	Sustancia Activa	Aptitud	Dosis* c/100 l
0	28 -11	Kumulus DF	azufre mojable	fungicida	0,3 kg
		Rovral 50 % WP	iprodione	fungicida	0,2 kg
13	11-dic	Confidor 20 LS	imidacloprid	insecticida	0,16 l
		Curafrutal LV	aceite emuls.	insecticida	0,25 l
22	20-dic	Curafrutal LV	aceite emuls.	insecticida	0,25 l
		Vertimec	abamectina	insecticida	0,05 l
		Minalan 20 LS	acetamiprid	insecticida	0,06 l
29	27-dic	Minalan 20 LS	acetamiprid	insecticida	0,06 l
		Kumulus DF	azufre mojable	fungicida	0,3 kg
38	5-ene	Minalan 20 LS	acetamiprid	insecticida	0,06 l
		Sunfire 24 SC	clorfenapir	insecticida	0,05 l
		Curafrutal LV	aceite emuls.	insecticida	0,3 l

\* Concentración para aplicación alto volumen de 1000 l.ha<sup>-1</sup>.

#### **6.2.4. Evaluación del control biológico**

En el período del ensayo, se requirieron tratamientos para el control de botrytis, polilla del tomate y mosca blanca. A efectos de evaluar la eficacia de los tratamientos, se realizó el monitoreo de mosca blanca por ser el principal problema sanitario del cultivo. Se contaron los adultos y las ninfas por folíolo a tres alturas y con doce repeticiones por tratamiento, extrayendo los mismos de la parte exterior e interior en forma aleatoria. Los conteos se realizaron en cuatro momentos a lo largo del ensayo.

#### **6.2.5. Diseño experimental y procedimiento de análisis estadístico de los resultados**

El diseño experimental fue de parcelas al azar. El análisis de la proporción cubierta y la calificación de la cobertura fue realizado con la misma metodología descrita en apartados 5.2.1 y 5.2.5. También se procedió al análisis de otras dos variables que fueron la relación de proporción cubierta entre el haz y el envés de cada hoja y la suma de ambas. La suma de la

proporción cubierta de ambas caras se tomó como una representación del total de producto que llega a cada hoja.

La evaluación del control de mosca blanca se realizó mediante el procedimiento GENMOD (SAS V9.0). Se asumió una distribución binomial negativa de los datos experimentales y se utilizó la función de enlace logarítmica. La comparación de medias se realizó mediante la prueba de comparación de razones de verosimilitud. Diferencias entre medias con probabilidad de error tipo I mayores al 5 % fueron consideradas iguales según la prueba  $\chi^2$

### 6.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La suma del área foliar de todas las hojas de una planta representativa al momento de inicio del ensayo, momento en que fueron realizados los ensayos de calidad de distribución, fue de 11.940 cm<sup>2</sup>. Vista la población obtenida de 37.500 plantas por hectárea, el Índice de área foliar resultante fue 4,48

#### 6.3.1. Cobertura sobre el follaje

Cuadro 17. Cobertura en Haz.

Factor		C.V. %	Proporción cubierta en haz
trat	PC	51,2	0,455 a
	ESS-	103,4	0,192 b
	ESS+	107,3	0,176 b
	PN	147,6	0,119 b
posición	Exterior	96,5	0,259 a
	Interior	115,1	0,149 b
altura	Medio	97,8	0,239 a
	Alto	100,6	0,214 ab
	Bajo	130,4	0,159 b

Nota: Medias seguidas por la misma letra no difieren entre sí con  $p < 0,05$  (apartado 6.2.5.)



Dado que los tratamientos fueron realizados a diferente tasa de aplicación, era de esperar que ello se viera reflejado en mayor cobertura en aquellos de mayor volumen como la mayor cobertura en el haz de las hojas en el tratamiento convencional. No se detectó diferencia en la utilización o no de carga electrostática. La cobertura en el haz en la posición interna representó aproximadamente el 60 % de la cobertura externa.

Cuadro 18. Cobertura en Haz. Interacción tratamiento\* posición.

Trat.	Posición	Proporción
		cubierta en haz
PC	Exterior	0,583 a
PC	Interior	0,326 b
ESS-	Exterior	0,230 bc
ESS+	Exterior	0,197 bc
PN	Exterior	0,187 bc
ESS+	Interior	0,156 cd
ESS-	Interior	0,154 cd
PN	Interior	0,051 d

Nota: Medias seguidas por la misma letra no difieren entre sí con  $p < 0,05$  (apartado 6.2.5.)

Los tratamientos que mostraron comportamiento diferencial entre la posición externa e interna fueron el pulverizador hidráulico convencional (PC) y el pulverizador neumático de mochila (PN). La baja cobertura del tratamiento PN, particularmente en la parte interna, no era un resultado esperable por ser un pulverizador con asistencia de aire y con una tasa de aplicación bastante alta.

Los tratamientos con el pulverizador electrostático (ESS+ y ESS-) obtuvieron coberturas interna y externa entre 15 y 23 %, no diferenciándose estadísticamente.

Cuadro 19. Cobertura en Envés.

Factor	Proporción cubierta		
	CV	en envés	
trat	PC	149,0	0,130 ab
	ESS-	185,8	0,124 a
	PN	197,5	0,063 ab
	ESS+	197,2	0,046 b
posición	Exterior	171,6	0,100 a
	Interior	224,8	0,081 a
altura	Alto	120,6	0,186 a
	Medio	257,0	0,037 b
	Bajo	314,4	0,034 b

Nota: Medias seguidas por la misma letra no difieren entre sí con  $p < 0,05$  (apartado 6.2.5.)

La variabilidad de la cobertura en el envés observada a través del coeficiente de variación es mayor que en el haz. La cobertura en el envés fue mayor en el tratamiento ESS- que en el ESS+.

Coates y Palumbo (1997), evaluando un equipo ESS con y sin carga en campo con la misma metodología experimental (fotografías bajo luz ultravioleta), encontraron una mayor cobertura en el haz en el tratamiento con carga (57 vs. 41 %) no así en el envés en que ambos tratamientos tuvieron solo 1% de cobertura. En el mismo experimento, los autores evaluaron la deposición mediante adición de colorante alimentario azul y su correspondiente titulación obteniendo resultados similares. Law y Lane (1981) y Law (1982) también reportan beneficios del uso de carga electrostática en la mayor deposición sobre diferentes cultivos.

La pistola de aplicación del equipo electrostático es poco apropiada para realizar tratamientos en invernaderos con conducción vertical de los cultivos debido a su largo excesivo. Los invernaderos utilizados en Uruguay cuentan con una distancia interfilar muy reducida, lo que obliga a situar la boquilla a poca distancia del follaje. En esta situación, la asistencia de aire podría ser

mucho más efectiva que la carga electrostática en la cobertura de las hojas. Otra posible causa de la no obtención de efecto de la carga electrostática podría deberse a la utilización de caudal de salida demasiado elevado con la consecuente reducción de la relación carga.masa-1.

La mayor cobertura en el envés de la parte superior (A) es explicable por el menor tamaño de hojas del ápice y la trayectoria ascendente del líquido pulverizado.

Cuadro 20. Cobertura en Haz + Envés.

Factor		CV	Proporción cubierta haz+envés
trat	PC	57,2	0,584 a
	ESS-	95,6	0,316 b
	ESS+	103,2	0,223 bc
	PN	118,8	0,183 c
posición	Exterior	89,6	0,349 a
	Interior	113,7	0,230 b
altura	Alto	76,5	0,400 a
	Medio	99,1	0,276 b
	Bajo	139,1	0,193 b

Nota: Medias seguidas por la misma letra no difieren entre sí con  $p < 0,05$  (apartado 6.2.5.)

La suma de cobertura de haz y envés, está asociado al total de producto que llega a cada hoja. Se observa mayor cobertura en la posición exterior y en la altura superior, repitiéndose las tendencias observadas anteriormente. El tratamiento convencional con 1000 l.ha-1, obtuvo una cobertura de 58% mientras que el equipo ESS obtiene 31% y 22% con solo 170 l.ha-1 (cuadro 20).

Estas relaciones, ya observadas por varios autores en condiciones de campo evaluando tasas de aplicación y tamaño de gotas, indican la posibilidad de obtener mejores resultados y eventualmente reducir las dosis

utilizadas compensando reducción de tasas de aplicación con reducción de tamaño de gotas (Palumbo y Coates, 1996; Coates y Palumbo, 1997; Rocamora et al., 2002; Cross et al., 2000)

La otra variable analizada fue la relación de la cobertura en el haz y en envés. La variable se generó como el cociente de la proporción cubierta de cada hoja.

Cuadro 21. Relación de cobertura haz\*envés<sup>-1</sup>

Factor	Proporción cubierta	
		haz*envés <sup>-1</sup>
trat	PC	84,0 a
	ESS-	43,2 a
	PN	38,9 a
	ESS+	33,9 a
posición	Interior	62,4 a
	Exterior	37,7 b
altura	Medio	70,7 a
	Bajo	69,4 a
	Alto	9,9 b

Nota: Medias seguidas por la misma letra no difieren entre sí con  $p < 0,05$  (apartado 6.2.5.)

La variabilidad de los datos no permitió diferenciar entre tratamientos. La mayor homogeneidad entre ambos lados de las hojas fue obtenida en la parte superior, donde hay menor densidad foliar y el envés es más accesible.

La menor homogeneidad en la parte interna se debe principalmente a la frecuencia de valores de cobertura muy bajos en envés. Se observa mayor homogeneidad en la parte superior relacionado a la facilidad de llegada de pulverizado en esa zona.

Cuadro 22. Calificación de la cobertura sobre el follaje

Factor	Calificación		
	Haz	Envés	
trat	PC	4,367 a	1,950 b
	ESS-	4,183 a	2,550 a
	ESS+	4,183 a	2,133 ab
	PN	3,183 b	1,917 b
altura	Bajo	3,800 b	1,525 c
	Medio	4,163 a	1,875 b
	Alto	3,975 a	3,013 a
posición	Exterior	4,275 a	2,283 a
	Interior	3,683 b	1,992 b

Nota: Medias seguidas por la misma letra no difieren entre sí con  $p < 0,05$  (apartado 5.2.5). Calificación según escala predefinida (apartado 5.2.1.)

El análisis de la calificación muestra las mismas tendencias que el análisis de imágenes de las hojas, menor cobertura del tratamiento PN, en el estrato inferior y en la parte interna del cultivo.

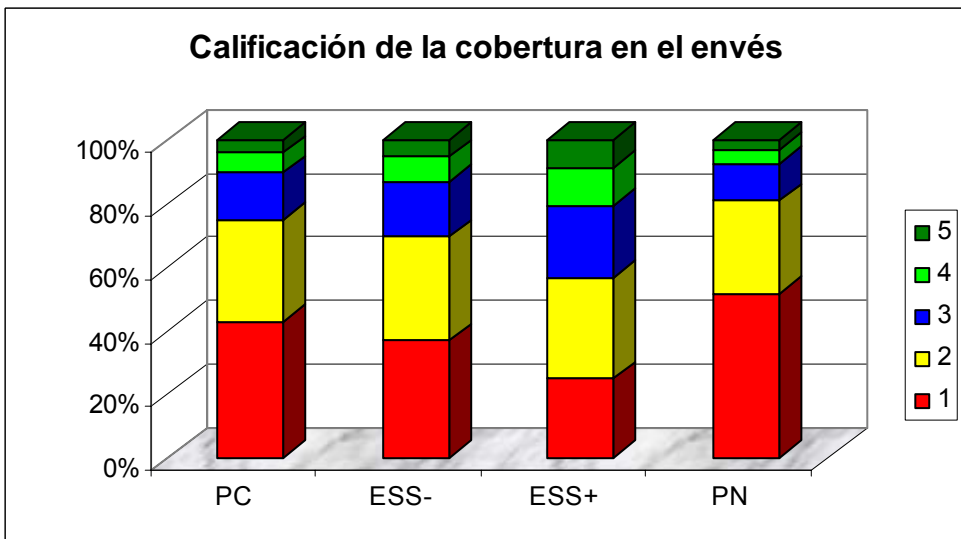
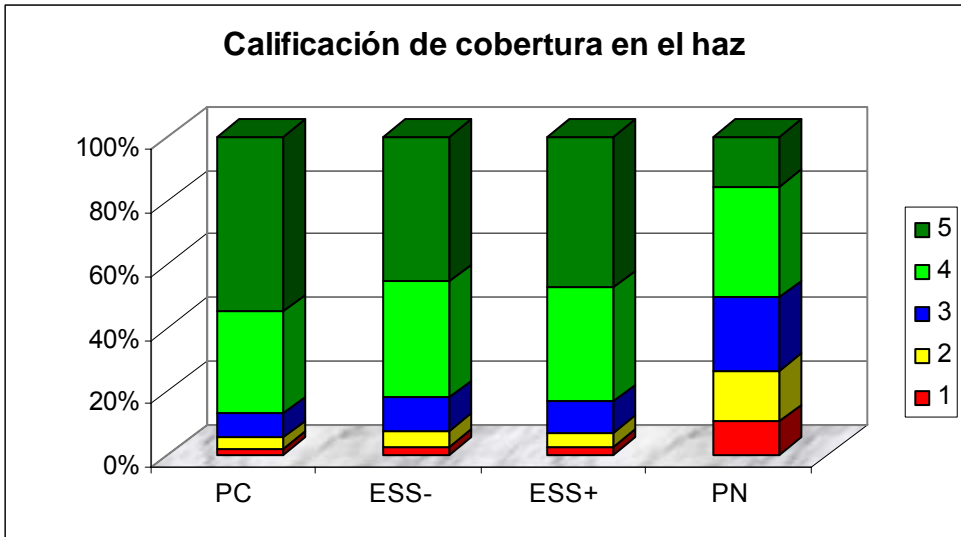


Figura 10. Probabilidad de obtención de niveles de cobertura

Tomando en cuenta que las calificaciones con valor 1 y 2 son las de densidad de impactos nula o muy baja (ver escala cuadro 5 pág. 51), vemos que estas son poco frecuentes en el haz (salvo el tratamiento PN) mientras que son la mayoría en el envés.

### 6.3.2. Evaluación del control de mosca blanca

El monitoreo de la población de mosca blanca comenzó a los seis días del primer tratamiento, completándose cuatro momentos de evaluación (cuadro 23). En el día seis, existían todavía bastantes diferencias en la población de mosca blanca entre tratamientos como resultado del manejo anterior del cultivo.

Cuadro 23. Evolución de la suma de ninfas y adultos de mosca blanca por folíolo

Trat	Días desde inicio			
	6	29	37	45
PC	1,56 a	0,92 bc	3,33 a	0,61 a
ESS-	2,15 a	3,58 a	1,11 b	0,19 a
ESS+	0,21 b	1,67 ab	2,61 a	0,19 a
PN	0,29 b	0,61 c	1,83 ab	0,47 a

Nota: Medias seguidas por la misma letra no difieren entre sí con  $p < 0,05$  (apartado 6.2.5.)

Los tratamientos se continuaron hasta el día 38 completándose cinco aplicaciones siendo la última siete días antes de la evaluación de los 45 días (cuadro 16). En el corto período de duración del ensayo, la evolución de mosca blanca no permitió diferenciar claramente a los tratamientos ensayados. Al final del ensayo, se observa una disminución generalizada de la población de mosca blanca. En la última fecha, el contraste entre los tratamientos con el equipo ESS (tratamientos ESS+ Y ESS-) en comparación con los otros dos (PC y PN) tuvieron menor población de mosca blanca ( $p\chi^2= 0.049$ ).

La variabilidad del nivel de infestación previo de mosca blanca entre las parcelas y el corto período ensayado no permitió extraer conclusiones significativas en cuanto a diferencia de eficacia biológica aunque las tendencias observadas son de interés.

## **7. OPTIMIZACIÓN DE LA APLICACIONES EN INVERNADERO A TRAVES DE EVALUACIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE APLICACIÓN EN EL CONTROL DE PLAGAS Y ENFERMEDADES DEL CULTIVO DE TOMATE**

### **7.3. OBJETIVOS**

Evaluar la eficacia en el control de plagas y enfermedades en un cultivo de tomate bajo invernadero de cinco tecnologías de pulverización con distribución manual.

### **7.4. MATERIALES Y MÉTODOS**

Se instaló un ensayo en el predio de un productor colaborador en los alrededores de Salto, Uruguay. Se utilizó un invernadero de 64 metros de largo por 24 de ancho con una superficie de 1536 m<sup>2</sup>. El tomate estaba plantado en canteros con filas dobles distanciadas a 1,6 m en sentido del lado más corto (norte – sur). El transplante fue realizado el día 11 de mayo y el entutorado, el 19 de julio. La densidad era de 31.000 plantas por hectárea.

Los productos utilizados fueron siempre los indicados por el técnico asesor de la empresa. Las dosis de producto por unidad de superficie y el momento de aplicación fueron las mismas para todas las tecnologías en evaluación. La concentración de producto se modificó en forma inversamente proporcional a la tasa de aplicación a efectos de mantener dosis constantes por unidad de superficie.

El índice de área foliar (IAF) se determinó en seis momentos a lo largo del ciclo. Para ello se procedió a seleccionar una planta típica para cada estado, a la cual se le cortaron todas las hojas. Se obtuvieron las imágenes digitalizadas de las hojas mediante escáner y la superficie determinada con un programa preparado en MATLAB R12.



### 7.4.3. Tratamientos

Cuadro 24. Tratamientos evaluados

Tratamiento	Descarga l.min <sup>-1</sup>	Tasa de aplicación(*) l.ha <sup>-1</sup>	Descripción
PC	3,0	800	pulverización hidráulica de alto volumen (tratamiento realizado por el productor)
PM	0,5	350	pulverización hidráulica con volumen medio
PN	0,4	175	pulverización neumática con mochila
ESS-	0,2	100	pulverización neumática de bajo volumen
ESS+	0,2	100	pulverización neumática de bajo volumen con carga electrostática

(\*): volumen de aplicación promedio durante el ensayo

	ESS-	PM	ESS-	PM	PC	ESS+	PN
PC	ESS+	PN	ESS+	PN	PM	PC	ESS-

Figura 11. Distribución de los tratamientos dentro del invernadero

En la figura 11 se observa la ubicación de los tratamientos. Los colores indican cada uno de los tres bloques del ensayo

PC: Pulverización hidráulica convencional (figura 12). Este tratamiento fue considerado como testigo de la tecnología de aplicación utilizada mayoritariamente en cultivos protegidos en Uruguay. El pulverizador utilizado propiedad del productor, fue fabricado por la firma Zunini (Salto,

fabricante local) y contaba con dos mangueras con pistolas de aplicación manual de doble boquilla. Las boquillas eran de cono hueco con discos de acero inoxidable. La presión de trabajo fue mantenida a  $14 \text{ kg.cm}^{-2}$  (13,7 bar) y el gasto en  $3 \text{ l.min}^{-1}$ . Si bien no se pudo disponer de información sobre tamaño de gotas, la observación de tarjetas hidrosensibles permitió identificar este tratamiento como el de mayor tamaño de gotas.



Figura 12. Pulverizadora hidráulica convencional

PM: Pulverización hidráulica con volumen medio (figura 13). Tratamiento realizado con un pulverizador hidráulico tipo carretilla, con motor de gasolina y pistola de aplicación de una sola boquilla. Boquilla cono hueco de acero inoxidable modelo Conejet TX4 (Teejet), presión 10 bar y gasto de  $0,5 \text{ l.min}^{-1}$ . El DMV es de  $98 \mu\text{m}$  según el fabricante. (boquilla equivalente a la actual TXA 80067)

PN: Pulverización neumática con mochila (figura 13). El equipo utilizado fue un pulverizador motorizado de espalda marca JACTO, modelo PV-50 BV.

El mismo está dotado de una bomba centrífuga la cual le permite enviar un volumen constante e independiente de la altura del dosificador. Cuenta también con orificios intercambiables para modificar el caudal y un dispositivo centrífugo de formación de gotas accionado por el flujo de aire. El gasto fue de  $0.4 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ , durante todo el ciclo del cultivo.

Tampoco se pudo disponer de información sobre tamaño de gotas pero la observación de tarjetas hidrosensibles permitió observar una gran similitud con el patrón de gotas obtenido por el tratamiento anterior (PM).



Figura 13. Pulverizadora hidráulica de carretilla para tratamiento PM y pulverizadora neumática tratamiento PN



ESS+ ESS- : Pulverización neumática de bajo volumen con y sin carga electrostática.( Figura 14). Siguiendo recomendaciones del fabricante, se utilizó una presión de 15 PSI (1,04 bar). El gasto del pulverizador fue siempre de  $0,2 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ . Según datos suministrados del fabricante, el tamaño de gotas es de  $40 \mu\text{m}$ . La observación de tarjetas hidrosensibles confirmó el menor tamaño de gotas de este tratamiento en comparación con todos los demás.



Figura 14. Pulverizadora neumática con carga electrostática

#### 7.4.4. Evaluación del control biológico

Para evaluar el efecto de los tratamientos, se consideraron las plagas y enfermedades que afectaron al cultivo. Las mismas coincidieron con las de mayor incidencia para la zona.

*Botrytis (Botrytis cinerea Pers.):*

Se determinó la incidencia de la enfermedad sobre frutos del tercero, cuarto y sexto racimo de cada planta. Los racimos se numeraron por orden cronológico de aparición. Se tomaron en un total de diez plantas por parcela, contándose número de frutos sanos y número de frutos atacados en forma semanal.

*Mosca blanca (Trialeurodes vaporariorum W):*

Se realizaron evaluaciones de número de adultos y ninfas durante todo el ciclo. Se contó el número de adultos en las tres hojas superiores de la planta (brote terminal), en cinco plantas por parcela. El número de ninfas se evaluó en las tres hojas inferiores en cinco plantas por parcela. Las

primeras evaluaciones, con un nivel bajo de infestación, se realizaron mediante el conteo de ninfas por folíolo (NPF). Cuando la población aumentó, se pasó a evaluar la presencia de ninfas mediante una escala por puntajes de cuatro niveles de infestación (cuadro 25).

Cuadro 25. Escala para la evaluación de incidencia de ninfas de mosca blanca

Puntaje	Ninfas por hoja (NPF)
0	$0 \leq \text{NPF} < 50$
1	$50 \leq \text{NPF} < 100$
2	$100 \leq \text{NPF} < 250$
3	$\text{NPF} \geq 250$

Para el monitoreo de la población se instalaron trampas pegajosas amarillas, ubicándolas en la parte interna y superior del cultivo. El conteo se hizo en forma semanal y permitió monitorear la evolución de la cantidad de adultos.

Polilla del tomate (*Tuta absoluta*, Meyr.):

Se presentan los resultados de larvas por planta. Estas fueron contadas en la parte superior, en cinco plantas por parcelas, identificando larvas vivas y muertas.

Para el monitoreo de la polilla del tomate se colocaron trampas de feromona. Se contabilizaron en la misma el número de individuos machos capturados por semana.

#### 7.4.5. Diseño experimental y procedimiento de análisis estadístico de los resultados

El diseño experimental fue bloques con parcelas al azar, con cinco tratamientos y tres repeticiones. Las parcelas tenían 96 m<sup>2</sup>, formadas por cinco canteros de 12 m de largo. Todas las evaluaciones fueron realizadas

en el cantero central a los efectos de minimizar el efecto de los tratamientos adyacentes.

Para el análisis estadístico de adultos de mosca blanca, se realizó la transformación logarítmica de los datos, en un Modelo Lineal Generalizado, que supone distribución Poisson de los residuales y función de enlace logarítmica. Se realizó el análisis por fecha y análisis combinado de todas las fechas:

Por fecha:  $\log N^{\circ} \text{ adultos} = f(\text{tratamiento}) + \epsilon$

Combinado:  $\log N^{\circ} \text{ adultos} = f(\text{fecha} + \text{tratamiento} + \text{fecha} * \text{tratamiento} + \epsilon)$

El mismo procedimiento se aplicó al análisis de ninfas por folíolo (NPF) en las primeras cinco evaluaciones.

Para el análisis de NPF de las últimas diez fechas, se utilizó el método de mínimos cuadrados ponderados, mediante el procedimiento CATMOD del SAS (Statistical Analysis System). Se utilizó la escala definida con cuatro niveles de infestación (ver cuadro 25).

La comparación de medias en todos los resultados presentados se realizó mediante la prueba de comparación de razones de verosimilitud ( $\chi^2$ ). Diferencias entre medias con probabilidad de error tipo I mayores al 5 % fueron consideradas iguales según la prueba ( $\chi^2$ ).

#### **7.4.6. Tratamientos y productos utilizados**

Se realizaron 22 tratamientos de julio a diciembre. En los cuadros 26 y 27 se detallan momentos de aplicación, productos y dosis utilizadas.

De las 22 aplicaciones realizadas entre el 18 de julio y el 19 de diciembre, 6 fueron para control de insectos, nueve para enfermedades y 7 para ambos.

De esa manera se totalizaron 13 tratamientos para control de insectos y 16 para enfermedades.

Cuadro 26. Productos comerciales utilizados y dosis de aplicación

Fecha	Producto comercial	Dosis/ha	Fecha	Producto comercial	Dosis.ha <sup>-1</sup>
18/7	Nordox	1,2 kg	24/10	Evisect	0,5 kg.
30/7	Fanavid	2,5 kg	31/10	Applaud	0,8 kg.
10/8	Nordox	1 kg	"	Bravo	2 l
"	Bravo	2 l	07/11	Applaud	0,8 kg.
18/8	Topsin	0,8 kg	"	Bravo	1 l
"	Tracer	0,15 l	15/11	Nordox	1,2 kg.
22/8	Switch	0,8 kg	"	Agrimicina	0,6 kg.
"	Merpan	2 l	21/1	Evisect	0,5 kg.
28/8	Nordox	1,2 kg	"	Applaud	0,8 kg.
"	Bravo	2 l	"	Sucess	0,3 l
07/9	Fanavid	3 l	29/11	Nordox	1,2 kg.
13/9	Mospilan	0,5 kg	"	Applaud	0,8 kg.
"	Rovral	1 l	"	Match	0,4 l
21/9	Nordox	1,2 kg	05/12	Confidor	0,4 l
"	Pugil	2,l	"	Thiodan	2 l
28/9	Evisect	0,5 kg	13/12	Sucess	0,3 l
"	Applaud	0,8 kg	"	Aplaud	0,8 kg.
03/10	Switch	1 kg	19/12	Aceite	2,5 l
10/10	Switch	1 kg	"	Thiodan	2 l
"	Sunfire	0,3 l			
18/10	Applaud	1 kg			
"	Nordox	1,2 kg			

Cuadro 27. Descripción de los agroquímicos aplicados

Nombre comercial	Principio activo	Clasificación
NORDOX 75	Oxido cuproso	Fungicida de contacto preventivo
FANAVID	Oxicloruro de cobre	Fungicida de contacto preventivo
BRAVO 500	Clorotalonil	Fungicida de contacto preventivo
TOPSIN M 70	Metil- tiofanato	Fungicida sistémico curativo y preventivo
MERPAN 80	Captan	Fungicida de contacto preventivo
SWITCH 62.5	Cyprodinil + Fludioxonil	Fungicida sistémico y de contacto
ROVRAL 50	Iprodione	Fungicida de contacto curativo
PUGIL	Clorotalonil	Fungicida de contacto preventivo
SUNFIRE	Clorfenapir	Insecticida acaricida contacto e ingestión
EVISECT	Tiocyclam- hidrogenoxalato	Insecticida sistémico, contacto e ingestión
APPLAUD	Buprofezin	Insecticida-acaricida contacto e ingestión
SUCCESS	Spinosad	Insecticida de contacto e ingestión
MATCH 50	Lufenuron	Insecticida de ingestión
CONFIDOR 35	Imidacloprid	Insecticida sistémico
THIODAN 35	Endosulfan	Insecticida de contacto e ingestión
TRACER	Spinosad	Insecticida de contacto e ingestión
MOSPILAN	Acetamiprid	Insecticida sistémico, contacto e ingestión
AGRIMICINA	Estreptomicina + Oxitetraciclina	Bactericida



## 7.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 7.5.7. Volumen de aplicación

Cuadro 28: Evolución de la tasa de aplicación y el cultivo.

Fecha	Días desde transplante	Altura m	IAF	V. veg. m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>	l.ha <sup>-1</sup>			
					ESS (+ y -)	PN	PM	PC
18/7	68	0,5	0,89	2500	38	133	133	450
30/7	80	0,8	1,76	4000	38	133	133	470
10/8	91	0,97	2,64	4850	50	150	233	533
18/8	99	1,1		5500	50	150	233	533
22/8	103	1,28		6400	75	150	250	617
28/8	109	1,35		6750	75	128	233	567
07/9	119	1,45		7250	92	133	283	567
13/9	125	1,58	2,2	7900	150	176	433	600
21/9	133	1,75		8750	158	216	500	700
28/9	140	1,94		9700	142	233	566	800
03/10	145	2		10000	117	233	500	850
10/10	152	2,05		10250	137	200	467	900
18/10	160	2,05	1,22	10250	125	200	433	950
24/10	166	2,1		10500	125	200	367	950
31/10	173	2,1	1,21	10500	100	183	367	1000
07/11	180	2,1		10500	100	183	367	1000
15/11	188	2,1		10500	100	183	367	967
21/11	194	2,1		10500	100	183	300	1000
29/11	202	2,1		10500	100	183	367	1000
05/12	208	2,1		10500	100	166	333	920
13/12	216	2,1		10500	100	166	367	1040
19/12	222	2,1		10500	100	166	400	1040
TASA DE APLICACIÓN MEDIA					99	175	347	793

Los volúmenes se fueron ajustando empíricamente en forma acorde al crecimiento del cultivo y el desarrollo foliar. El descenso del área foliar observado a partir de setiembre se debe a tareas de deshoje realizado por el productor.

Las determinaciones de IAF permitieron calcular para varios estados del cultivo la relación entre tasa de aplicación y superficie foliar (cuadro 29).

Cuadro 29. Índice de aplicación volumen/ superficie

Días	l.m <sup>-2</sup>			
	ESS±	PN	PM	PC
68	0,004	0,015	0,015	0,050
80	0,002	0,008	0,008	0,027
91	0,002	0,006	0,009	0,020
125	0,007	0,008	0,020	0,027
160	0,010	0,016	0,035	0,078
173	0,008	0,015	0,030	0,082
Promedio	0,006	0,011	0,019	0,047

La evolución del índice de aplicación volumen/superficie para el tratamiento convencional (PC) permite observar aparentes excesos al principio y final del ensayo por inadecuado ajuste de la tasa de aplicación al desarrollo del área foliar del cultivo.

Esto es explicable debido a que al inicio del cultivo, el IAF es muy bajo y (además del poco esfuerzo por ajustar la dosis) la mayoría del producto termina en el suelo. Después de 160 días, el cultivo se deshojó en su parte inferior, sin embargo aunque no haya hojas en el primer metro de altura, esta zona debe tratarse igualmente provocando el aumento del índice volumen/ superficie observado al final del ciclo (cuadro 29).

En pimiento, Sánchez-Hermosilla et al. (2005) utilizó el método de recubrimiento óptimo propuesto por Gil (2003), para el ajuste de la tasa de aplicación en función del área foliar. Operando con sus resultados, el

índice utilizado fue de  $0,024 \text{ l.m}^{-2}$ . Los valores son similares a los utilizados en el tratamiento convencional entre los días 80 y 125, hasta que se realizó el deshoje del cultivo. Estas similitudes muestran la validez de dicha metodología en la estimación de la tasa de aplicación de alto volumen en el cultivo de tomate.

Cuadro 30. Índice de aplicación volumen/ volumen

Días	$\text{l.m}^{-3}$			
	ESS±	PN	PM	PC
68	0,0152	0,0532	0,0532	0,1800
80	0,0095	0,0333	0,0333	0,1175
91	0,0103	0,0309	0,0480	0,1099
99	0,0091	0,0273	0,0424	0,0969
103	0,0117	0,0234	0,0391	0,0964
109	0,0111	0,0190	0,0345	0,0840
119	0,0127	0,0183	0,0390	0,0782
125	0,0190	0,0223	0,0548	0,0759
133	0,0181	0,0247	0,0571	0,0800
140	0,0146	0,0240	0,0584	0,0825
145	0,0117	0,0233	0,0500	0,0850
152	0,0134	0,0195	0,0456	0,0878
160	0,0122	0,0195	0,0422	0,0927
166	0,0119	0,0190	0,0350	0,0905
173	0,0095	0,0174	0,0350	0,0952
180	0,0095	0,0174	0,0350	0,0952
188	0,0095	0,0174	0,0350	0,0921
194	0,0095	0,0174	0,0286	0,0952
202	0,0095	0,0174	0,0350	0,0952
208	0,0095	0,0158	0,0317	0,0876
216	0,0095	0,0158	0,0350	0,0990
222	0,0095	0,0158	0,0381	0,0990
Promedio	0,0117	0,0224	0,0412	0,0962

La relación entre el volumen de vegetación de las filas y la tasa de aplicación permitió realizar observaciones tendientes a validar un método de ajuste entre ambos, similar al método conocido por TRV (Tree Row Volume) como el desarrollado por Sutton y Unrath (1984) para frutales de hoja caduca.

Para el tratamiento convencional, esa relación varió desde inicio a fin del ensayo entre 0,18 y 0,099 con una media de 0,096 l.m<sup>-3</sup>. Los autores (*ibidem*), proponían un índice de aplicación de 0,0937 l.m<sup>-3</sup> para las aplicaciones hidráulicas de alto volumen en manzano.

Sánchez-Hermosilla et al. (2005) proponen un método similar al cual llamaron PRV (Plant Row Volume) habiendo ajustado un modelo lineal para su determinación:

$$V_{PRV} \text{ l/ha} = 233,62 + 0,07PRV.$$

La aplicación de éste modelo al desarrollo del cultivo de tomate de este ensayo produce tasas de aplicación muy similares a las realmente utilizadas en el tratamiento de pulverización hidráulica convencional. La sencillez de su determinación indica la conveniencia de su utilización para el ajuste de la tasa de aplicación a nivel comercial.

### 7.5.8. Eficacia de control de botrytis

Cuadro 31. Porcentaje de frutos atacados por Botrytis en el 3º racimo.

Tratamiento	Porcentaje de frutos atacados por Botrytis			
	19/9	26/9	04/10	Promedio
PC	5,7	4,8	8,7	6.4
PM	7,7	9,0	7,8	8.1
PN	5,4	5,1	5,5	5.3
ESS-	1,4	3.1	7.5	4
ESS+	5,9	2,0	2,7	3.5

Nota: No se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos.

Al analizar la incidencia de Botrytis sobre el tercer racimo, no encontramos diferencias significativas entre los tratamientos para las tres fechas en estudio.

Cuadro 32: Porcentaje de frutos atacados por Botrytis en el 4º racimo.

Tratamiento	Fecha de evaluación (días desde inicio)				
	19/9 (63)	26/9 (70)	04/10 (78)	19/10 (93)	27/10 (101)
PC	4,0	3,6	12,3	14,9	14,7
PM	7,4	5,4	7,0	6,5	5,9
PN	3,3	7,9	11,0	10,8	10,0
ESS-	5,1	3,5	5,7	3,7	3,0
ESS+	3,2	3,3	11,4	7,3	6,6

Nota: No se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos.

El análisis del efecto de los tratamientos sobre el porcentaje de frutos atacados por Botrytis en el cuarto racimo no arrojó diferencias significativas entre tratamientos dentro de cada fecha de evaluación (cuadro 32). En las últimas evaluaciones, con mayor presión de la enfermedad, los resultados indican una tendencia de mayor ataque en el tratamiento convencional.

Cuadro 33. Porcentaje de frutos atacados por botrytis en el 4º racimo

Tratamiento	% de frutos atacados
PC	8,4 a
PM	6,5 ab
PN	8,1 a
ESS-	4,2 b
ESS+	5,8 ab

Nota: Medias identificadas con igual letra no difieren significativamente entre sí con  $p < 0,05$  según la prueba de comparación de razones de verosimilitud ( $\chi^2$ ).

Para analizar el efecto global de los tratamientos, se realizó el análisis combinando todas las evaluaciones (cuadro 33). Los resultados que se observan, si bien establecen diferencias estadísticamente significativas

entre algunos tratamientos, no permiten visualizar tendencias claras. El tratamiento ESS- fue el que presentó el menor porcentaje de frutos atacados en el cuarto racimo. El porcentaje de ataque no superó el 10 % en ningún tratamiento, por lo que dichas diferencias no parecen relevantes.

Cuadro 34. Porcentaje de frutos atacados por botrytis en el 6° racimo.

Tratamiento	% de frutos atacados	
	19/10	27/10
PC	39,7 a	37,0 a
PM	12,9 ab	10,8 b
PN	16,1 ab	13,6 b
ESS-	9,5 b	8,6 b
ESS+	13,8 ab	12,5 b

Nota: Medias identificadas con igual letra no difieren significativamente entre sí con  $p < 0,05$  según la prueba de comparación de razones de verosimilitud ( $\chi^2$ ).

La evaluación sobre el sexto racimo, se realizó en un estado más avanzado del cultivo, época en la que se dieron condiciones fuertemente favorables para el ataque del hongo. Obsérvese que el nivel de daño alcanza cerca del 40 % de frutos atacados. En éstas condiciones, aparecen ventajas muy importantes de los tratamientos alternativos, frente al convencional. Los resultados coinciden con los de Cross et al. (2000), quienes obtuvieron mejor control de oídio cuando utilizaron volumen medio de aplicación y gotas finas.

### 7.5.9. Eficacia de control de mosca blanca

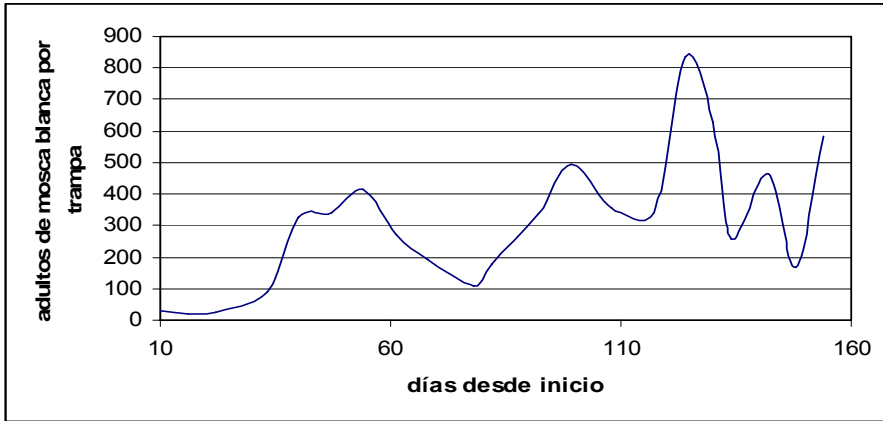


Figura 15. Adultos de mosca blanca capturados en trampas pegajosas.

El monitoreo de la población de adultos en trampas permitió cuantificar la presión de ataque sobre el cultivo.

Como se observa en la figura 15, las altas poblaciones detectadas resultaron en una muy alta presión de ataque sobre el cultivo de tomate evaluado.

### 7.5.10. Eficacia de control de adultos mosca blanca

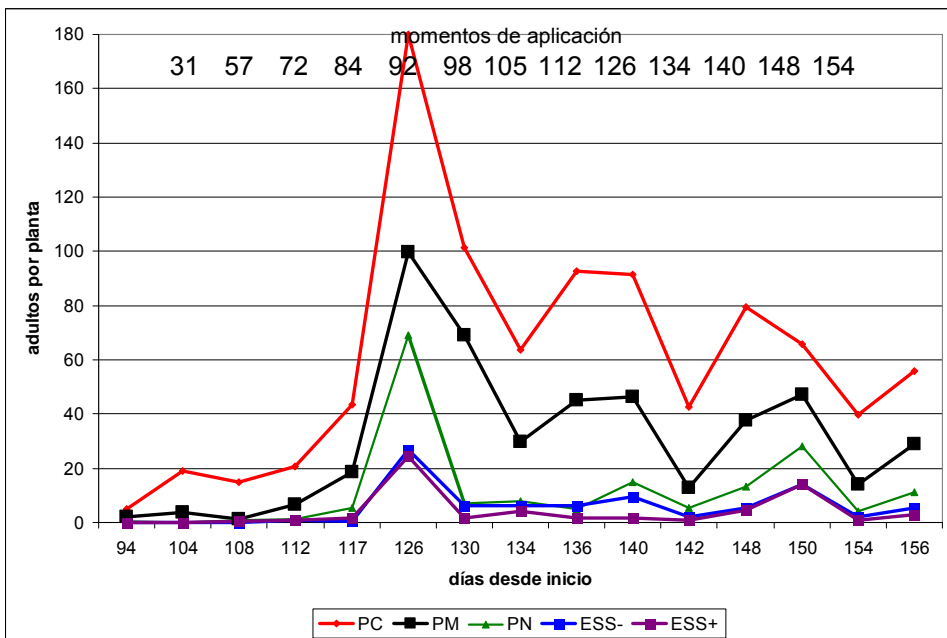


Figura 16. Evolución de los adultos de mosca blanca

A lo largo del ciclo del cultivo se realizaron 15 evaluaciones para el estudio de la evolución de adultos y ninfas de mosca blanca (figuras 16 y 17)

Cuadro 35: Adultos de mosca blanca por planta en las evaluaciones pos - tratamiento.

Trat.	Fecha de evaluación (días desde inicio)						
	3/11 (108)	12/11 (117)	25/11 (130)	1/12 (136)	7/12 (142)	15/12 (150)	21/12 (156)
PC	11,8 a	38,0 a	103,5 a	97,8 a	25,5 a	46,0 a	58,6 a
PM	1,0 b	18,5 b	69,4 b	45,0 b	11,3 b	43,2 a	28,9 b
PN	0,7 b	5,6 c	6,8 c	5,0 c	6,3 b	30,3 a	11,0 c
ESS-	0,1 b	0,4 d	6,1 c	6,0 c	2,4 c	16,3 b	5,3 d
ESS+	0,3 b	1,6 cd	1,6 c	1,6 c	1,2 c	16,0 b	2,9 d

Nota: Medias identificadas con igual letra no difieren significativamente entre sí con  $p < 0,05$  según la prueba de comparación de razones de verosimilitud ( $\chi^2$ ).

Según se observa en el cuadro 35, en todas las fechas de evaluación post-tratamiento existen diferencias significativas. En todos los casos, PC se diferenció mostrando los niveles más altos en número de adultos de mosca blanca post-aplicación, a excepción de la evaluación del 15 de diciembre, donde es estadísticamente igual a los tratamientos PM y PN.

En un nivel intermedio le siguen los tratamientos PM, y PN, los cuales tuvieron un mejor control en el número de adultos de mosca blanca frente a la pulverización convencional (PC). Para todos los casos PN siempre presentó menores valores en número de adultos frente al tratamiento PM, a pesar de las igualdades estadísticas en algunos casos.

Los tratamientos ESS- y ESS+ mostraron ser los mejores en el control de adultos de mosca blanca, con la excepción de la primera fecha donde solo fueron diferentes estadísticamente de PC. En todas las fechas analizadas no se encontraron diferencias de cantidad de adultos de mosca blanca entre los tratamiento con y sin carga (ESS+ y ESS-).



En casi todos los casos hay una menor incidencia de mosca blanca en el tratamiento PM comparado con el convencional. El tratamiento PM, por ser de tasa de aplicación menor utilizó concentración de pesticidas aproximadamente el doble que PC.

El tratamiento PM se realizó con menor tamaño de gota que PC. Según Omar y Mathews (1991), la sola reducción del tamaño de gota produce descenso en la DL50.

Si bien en este ensayo la distribución no fue estudiada, Lindquist et al. (1993) opinan que la disminución de la tasa de aplicación puede resultar en pérdida de calidad de distribución. De haber habido pérdida en la calidad de distribución con el tratamiento PM, esto no se vio reflejado en su eficacia biológica sino todo lo contrario.

Se observa una tendencia en cuanto a que los resultados se agrupan en dos conjuntos diferentes, (PC, PM) y (PN, ESS-, ESS+). El primer grupo incluye los dos tratamientos de pulverización hidráulica, el segundo grupo está formado por tratamientos de pulverización con asistencia de aire. El contraste estadístico entre dichos grupos mostró una diferencia altamente significativa a favor de los tratamientos con asistencia de aire ( $p \chi^2 = 0,0026$ ).

Cuadro 36. Número de adultos de mosca blanca (todas las fechas).

Tratamiento	Adultos por planta
PC	45,7 a
PM	22,6 b
PN	7,9 c
ESS-	3,4 d
ESS+	2,0 e

Nota: Medias identificadas con igual letra no difieren significativamente entre sí con  $p < 0,05$  según la prueba de comparación de razones de verosimilitud ( $\chi^2$ ).

En el cuadro 36, se presentan los resultados del número de adultos de mosca blanca, considerando todas las fechas. Estadísticamente todos los tratamientos se diferencian entre sí. El tratamiento ESS+ es el que mejor comportamiento presenta frente a la variable analizada, en cambio PC aparece con el valor más alto en número de adultos.

### 7.5.11. Eficacia de control de ninfas mosca blanca

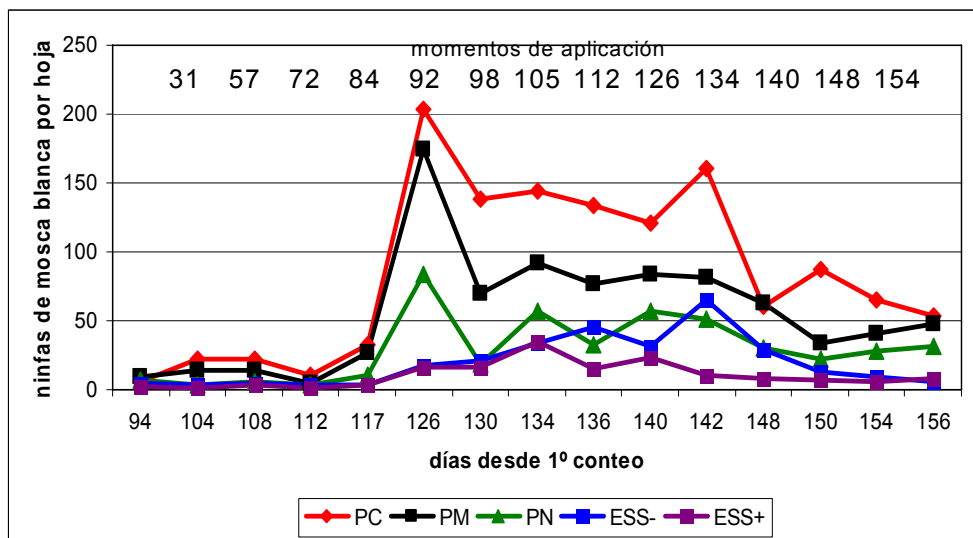


Figura 17. Evolución de las ninfas de mosca blanca

Cuadro 37. Número de ninfas de mosca blanca por folíolo, primeras cinco evaluaciones.

Tratamiento	Fecha de evaluación (días desde inicio)				
	20/10 (94)	30/10 (104)	3/11 (108)	7/11 (112)	12/11 (117)
PC	5,5 bc	22,6 a	21,8 a	9,8 a	31,8 a
PM	9,0 a	13,4 b	13,0 b	4,4 b	26,3 a
PN	7,0 ab	3,9 c	5,5 c	3,7 b	10,0 b
ESS-	4,1 c	3,8 c	4,2 c	2,8 bc	3,1 c
ESS+	2,2 d	1,7 c	4,1 c	1,3 c	3,2 c

Nota: Medias identificadas con igual letra no difieren significativamente entre sí con  $p < 0,05$  según la prueba de comparación de razones de verosimilitud ( $\chi^2$ ).

En el cuadro 37 se observa que salvo para la primer evaluación, los peores resultados se obtuvieron con la pulverización convencional. Destaca la eficacia de control de la pulverización neumática de bajo volumen con y sin carga electrostática (ESS+ y ESS-).

Cuadro 38. Número de ninfas de mosca blanca por folíolo(NPF), primeras cinco evaluaciones. (todas las fechas)

Tratamiento	NPF
PC	17,1 a
PM	12,4 b
PN	5,6 c
ESS-	3,3 d
ESS+	2,1 e

Nota: Medias identificadas con igual letra no difieren significativamente entre sí con  $p < 0,05$  según la prueba de comparación de razones de verosimilitud ( $\chi^2$ ).

En el análisis global de las primeras cinco evaluaciones, la pulverización electrostática (ESS+) presentó el mejor control de ninfas de mosca blanca.

Cuadro 39: Puntaje obtenido del número de ninfas últimas diez evaluaciones.

Tratamientos	Puntaje*
PC	1,80 a
PM	1,10 b
PN	0,52 c
ESS-	0,32 d
ESS+	0,14 e

\*Nota: Ver apartado 7.4.4. (cuadro 25).

Medias identificadas con igual letra no difieren significativamente entre sí con  $p < 0,05$  según la prueba de comparación de razones de verosimilitud ( $\chi^2$ ).

Los valores de puntaje en el cuadro 39 corresponden a los valores calculados según la escala utilizada para la evaluación de ninfas de mosca blanca en las diez últimas evaluaciones. El puntaje obtenido por PC

corresponde a un valor cercano a cien ninfas por hoja. El puntaje obtenido con ESS+ equivale a un número de ninfas por hoja cercano a cero.

La alta eficacia obtenida con pulverización neumática con carga electrostática coincide con los resultados de Law (1982), Adams (1989), Sopp (1989) y Herzog (1983).

Los resultados también son coincidentes con los ensayos de laboratorio de Alm (1987, 1989) y Himel (1969) en relación a la mayor efectividad de las gotas pequeñas y los menores volúmenes de aplicación en la eficacia de los tratamientos.

#### 7.5.12. Eficacia de control de polilla del tomate

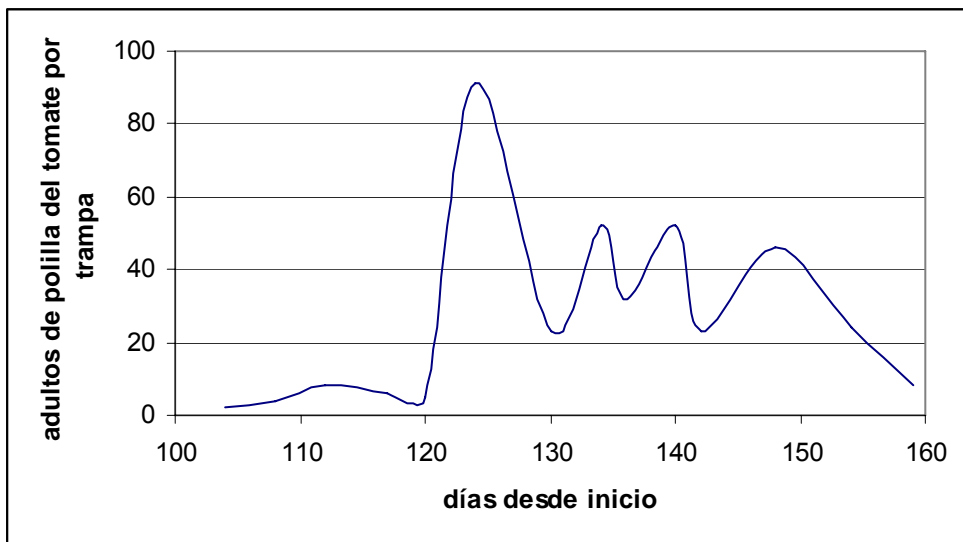


Figura 18: Número de adultos de polilla del tomate capturados en trampas de feromonas.

Cuadro 40: Porcentaje de larvas muertas de polilla por planta (análisis conjunto de tres fechas de muestreo: (9/10; 18/12; 28/12))

Tratamiento	porcentaje de larvas de polilla muertas
PC	23,3 b
PM	35,7 ab
PN	22,7 b
ESS-	45,4 a
ESS+	46,9 a

Nota: Medias identificadas con igual letra no difieren significativamente entre sí con  $p < 0,05$  según la prueba de comparación de razones de verosimilitud ( $\chi^2$ ).

La incidencia de ataque de polilla fue baja en todos los tratamientos. Se observa un aumento de capturas sobre mediados de noviembre, que no se tradujo en un daño significativo sobre el cultivo.

El efecto sobre el control de larvas de polilla muestra las tendencias similares entre tratamientos que sobre control de mosca blanca. Los tratamientos ESS- Y ESS+, obtienen el mejor control (cuadro 40).

## **8. OPTIMIZACIÓN DE LAS APLICACIONES EN UN CULTIVO DE PIMIENTO EN INVERNADERO MEDIANTE TECNOLOGIAS DE APLICACIÓN NEUMÁTICA CON Y SIN CARGA ELECTROSTÁTICA**

### **8.1. OBJETIVOS.**

Evaluar el efecto de la carga electrostática en la distribución de la pulverización sobre el follaje de un cultivo de pimiento en invernadero.

En ensayo anterior (ver apartado 6.3.1), estudiando el efecto de la carga electrostática sobre la cobertura en un cultivo de tomate, no se obtuvieron diferencias por el hecho de aplicar o no dicha carga. En ese ensayo, la presión de trabajo fue de 3 bar. Una de las causas probables de dicho resultado era la relación carga.masa<sup>-1</sup> la cual podía haber sido inadecuada en comparación con la recomendación del fabricante.

Para evaluar el efecto de dicha relación dentro de los límites de utilización del equipo disponible, se plantea este ensayo combinando dos tasas de aplicación con la asistencia o no de carga electrostática.

### **8.2. MATERIALES Y MÉTODOS**

El ensayo se realizó en un invernadero tipo capilla de 56m de largo y 11,1 m de ancho. El cultivo se hallaba en plena producción con una altura promedio de 1,9 m. El cultivo estaba plantado en hilera simple y conducido mediante mallas plásticas en dos planos verticales. La población era de 16.200 plantas por hectárea

### **8.2.1. Tratamientos.**

Cuadro 41. Tratamientos

Trat.	bar	l.min <sup>-1</sup>	l.ha <sup>-1</sup>	Descripción
PN	-	1,0	240	pulverización neumática con mochila
ESS-1	1	0,2	53	pulverización neumática sin carga electrostática
ESS+1	1	0,2	53	pulverización neumática con carga electrostática
ESS-3	3	0,45	106	pulverización neumática sin carga electrostática presión incrementada
ESS+3	3	0,45	106	pulverización neumática con carga electrostática presión incrementada

En este ensayo se utilizó el pulverizador GPSK a 1 y 3 bar (0,2-0,45 l.min<sup>-1</sup>) a efectos de evaluar el efecto de dos niveles de carga. Se agregó un quinto tratamiento con pulverizadora neumática de mochila por ser el método utilizado por el productor. Este último se realizó con una pulverizadora neumática de espalda marca Guarany modelo ULV-Super. Según el fabricante, el 80% del líquido pulverizado está contenido en gotas entre 90 y 180 µm con un DMV entre 90 y 130 µm.

### **8.2.2. Evaluación de la cobertura.**

Se realizó una aplicación con agua y BLANKOPHOR BA 267%<sup>®</sup> al 2%. Cada tratamiento se asignó al azar a una parcela de 11 m de largo. Se sacaron muestras de dos alturas y dos profundidades. La altura fue identificada como M (medio, 1 m) y A (alto, 1,8 m). Las profundidades, como E (exterior) e I (interior). De cada uno de los cuatros puntos de muestreo se obtuvieron 30 hojas para el análisis de cobertura totalizando 120 hojas por tratamiento.

La calificación de la cobertura fue realizada mediante dos procedimientos. En primer lugar se adjudicaron los niveles de cobertura según la escala definida en el cuadro 5 (pág. 51). En segundo lugar, se agruparon las calificaciones de forma tal que los niveles más bajos de cobertura (1 y 2) fueron considerados como no aceptables y los niveles de mayor cobertura (3, 4 y 5) fueron considerados como aceptables.

Se asignó el nombre "Puntaje" para la nueva variable generada que adoptó dos valores: 1= aceptable, 0= no aceptable. El análisis estadístico de la misma fue realizado mediante el procedimiento Genmod (SAS versión 9.0) con distribución binomial y función de enlace Logit. La comparación de medias se realizó mediante la prueba de comparación de razones de verosimilitud. Diferencias entre medias con probabilidad de error tipo I mayores al 5 % fueron consideradas iguales según la prueba  $\chi^2$



### 8.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cuadro 42 Cobertura en Haz.

Factor	Proporción cubierta		
	CV %	Haz	
trat	PN	73	0,260 a
	ESS+3	104	0,229 ab
	ESS-3	125	0,154 bc
	ESS+1	120	0,130 c
	ESS-1	126	0,077 c
posición	Exterior	88	0,256 a
	Interior	108	0,084 b
altura	Medio	126	0,159 a
	Alto	101	0,181 a

Nota: Medias identificadas con igual letra no difieren significativamente entre sí con  $p < 0,05$  según la prueba de comparación de razones de verosimilitud ( $\chi^2$ ).

La presencia de coalescencia en muchas hojas, sobre todo de la posición exterior, no permitió analizar el tamaño de los impactos. De cualquier manera, se observó visualmente mayor tamaño de impactos con el tratamiento PN, coincidiendo con la información suministrada por el fabricante.

Esto estaría explicando la poca diferencia en cobertura a favor de este tratamiento a pesar de que su tasa de aplicación es más del doble de la del tratamiento que le sigue en cobertura.

El contraste entre los tratamientos con carga y los tratamientos sin carga con el pulverizador GPSK resultó altamente significativo (pr. f: 0,0017). La carga electrostática produjo un incremento de 6,3 % en la cobertura del haz (aumento de 48% a 3 bar y 67 % a 1 bar)

El contraste entre los tratamientos a 1 y a 3 bar con el pulverizador GPSK también resultó altamente significativo, asociado a la diferente tasa de aplicación utilizada ( $p < 0,0001$ ).

Cuadro 43. Cobertura en Envés.

Factor	Proporción cubierta		
	CV%	Envés	
trat	ESS+3	91	0,261 a
	ESS+1	113	0,231 ab
	PN	87	0,215 ab
	ESS-3	142	0,170 ab
	ESS-1	139	0,158 b
posición	Exterior	82	0,311 a
	Interior	139	0,103 b
altura	Medio	131	0,127 b
	Alto	91	0,287 a

Nota: Medias identificadas con igual letra no difieren significativamente entre sí con  $p < 0,05$  según la prueba de comparación de razones de verosimilitud ( $\chi^2$ ).

El contraste entre los tratamientos con carga y los tratamientos sin carga en la cobertura del envés también resultó altamente significativo ( $p < 0,0009$ ) con un 8,2% de incremento en el porcentaje de área cubierta.

La menor cobertura en el estrato medio, está asociada a la mayor densidad del follaje en esa zona y presencia de hojas de mayor tamaño mayoritariamente decumbentes que dificultan fuertemente la penetración. Esta característica del cultivo del pimiento, ya había sido observada por Sánchez-Hermosilla et al. (2007) evaluando configuración de barras verticales.

La interacción entre posición y altura fue estadísticamente significativa en el envés. La cobertura en el estrato medio en la parte interior fue siempre la menor, del orden del 6% tanto para el haz como para el envés.

Por otro lado, se observó mayor frecuencia de hojas con más cobertura en el envés que en el haz en el estrato superior. La relación de cobertura entre los dos lados de la hoja (cuadro 44) no presenta diferencias entre tratamientos, pero sí entre las dos alturas evaluadas.

Cuadro 44 Relación de cobertura haz – envés

Factor		Proporción cubierta haz.envés <sup>-1</sup>
trat	ESS-3	3,46 a
	ESS+3	2,67 a
	ESS-1	2,67 a
	PN	2,50 a
	ESS+1	1,88 a
posición	Exterior	2,35 a
	Interior	2,93 a
altura	Medio	3,71 a
	Alto	1,56 b

Nota: Medias identificadas con igual letra no difieren significativamente entre sí con  $p < 0,05$  según la prueba de comparación de razones de verosimilitud ( $\chi^2$ ).

En la figura 19 a través del análisis de la cobertura, se observan tendencias similares a las ya discutidas. Los tratamientos sin carga presentan mayor frecuencia de calificaciones poco aceptables tanto en haz como envés (calificación 1 y 2).

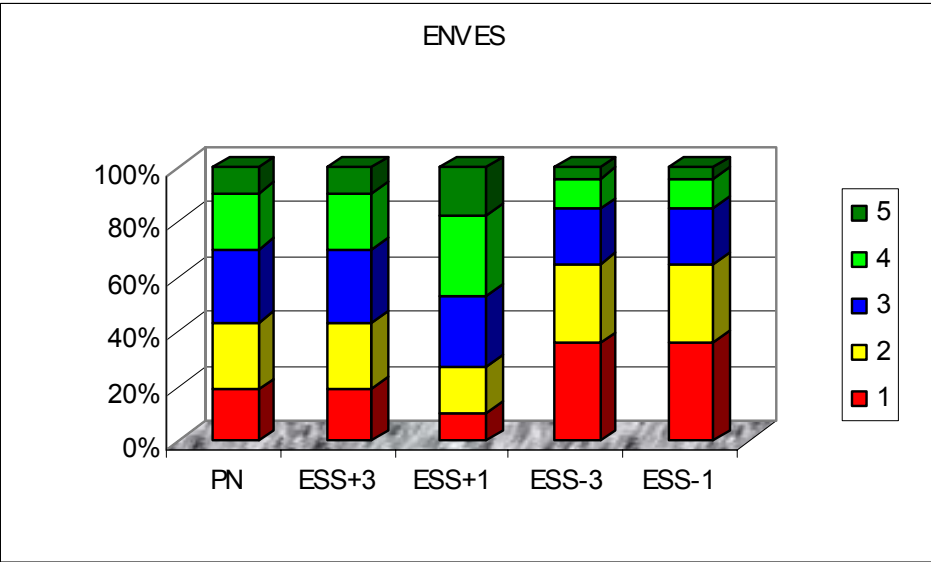
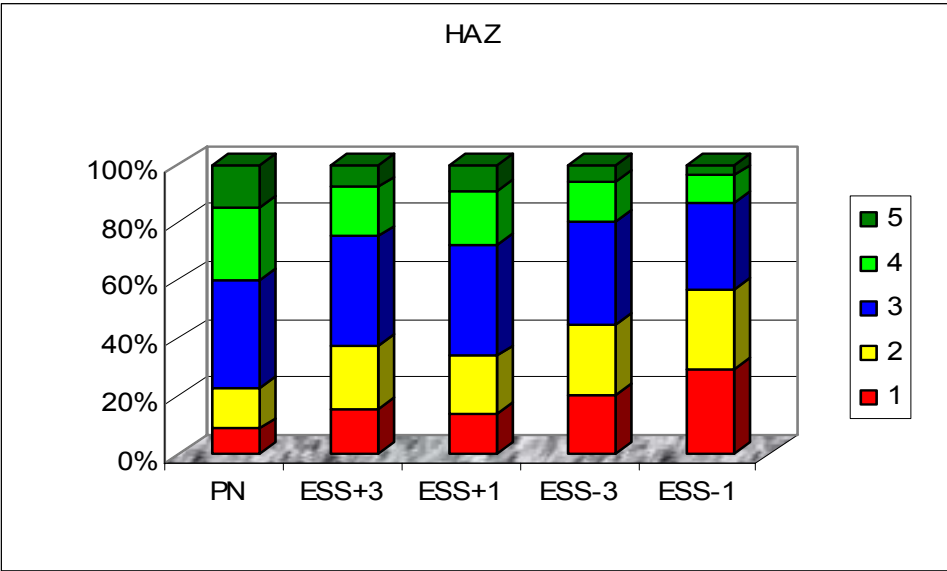


Figura 19. Calificación de la cobertura en haz y envés

Cuadro 45 Valoración de la cobertura

Tratamiento	Puntaje*
ESS+1	0,698 a
PN	0,558 a
ESS+3	0,548 ab
ESS-3	0,399 b
ESS-1	0,399 b

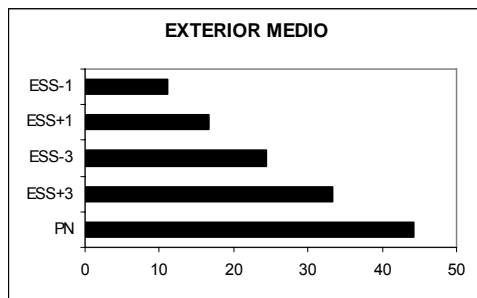
\* Nota: 1 aceptable, 0 no aceptable (ver apartado 8.2.2). Medias identificadas con igual letra no difieren significativamente entre sí con  $p < 0,05$  según la prueba de comparación de razones de verosimilitud ( $\chi^2$ ).

Asignando a los niveles de cobertura 1 y 2 como no aceptables y a los niveles 3, 4 y 5 como aceptables (cuadro 45), se observan los mejores puntajes en los tratamientos con carga y la pulverización neumática.

En la Figura 20 se observa el porcentaje de cobertura en el haz y en el envés obtenida por los tratamientos en cada posición del cultivo. En general se observa el fuerte efecto de la posición de muestreo.

En particular, se observa mayor cobertura obtenida en el envés en la parte superior tanto en el exterior como en el interior en comparación con la correspondiente cobertura del haz. En 6 de las ocho gráficas de la mencionada figura, el tratamiento ESS-1 obtiene la menor cobertura.

Haz



Envés

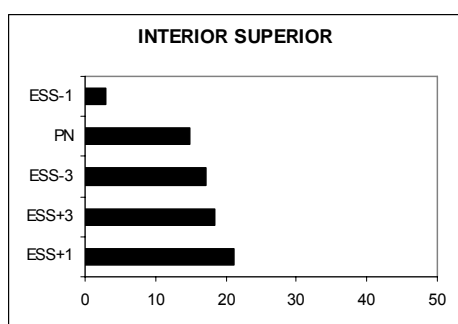
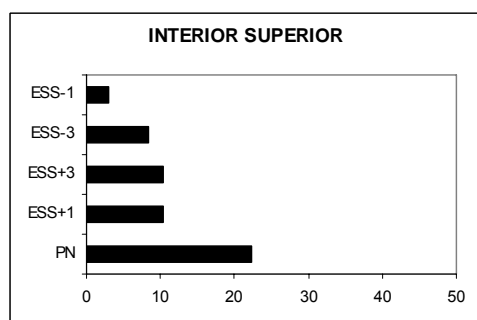
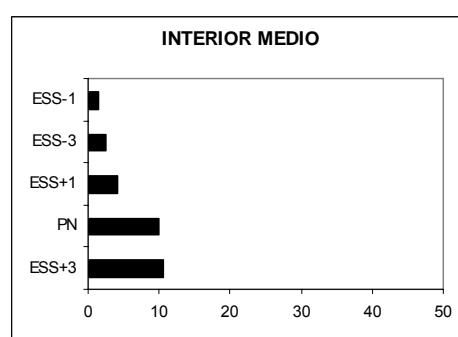
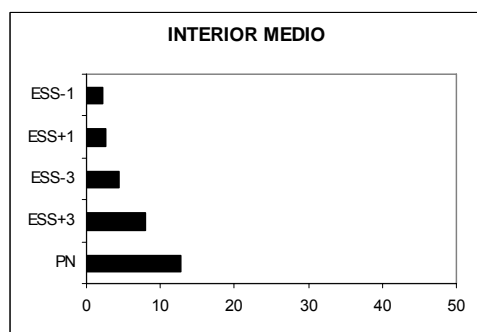
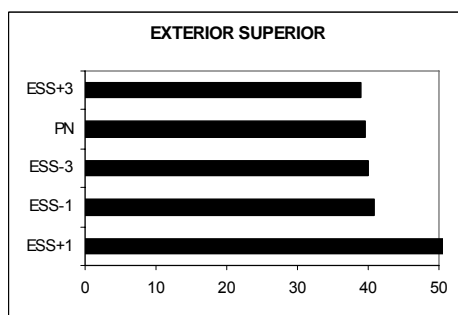
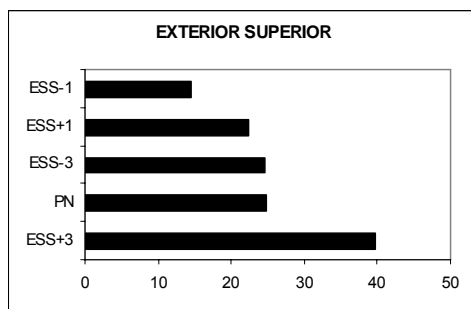
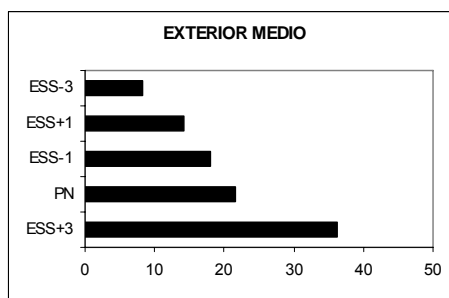


Figura 20. Porcentaje de cobertura en haz y envés

En este ensayo, los resultados indicaron un beneficio del uso de carga electrostática en la cobertura en comparación al mismo tratamiento sin carga. En ese sentido hubo coincidencias con los trabajos de Law y Lane (1981), Law (1982), Palumbo y Coates (1996), Coates y Palumbo (1997).

La reducción de la relación carga masa<sup>-1</sup> por efecto del aumento del gasto de la boquilla de 0,2 a 0,45 l.min<sup>-1</sup> que sería de prever según los resultados de Frost y Law (1981) no se vieron reflejados en la cobertura obtenida.

En ausencia de carga electrostática, se produjo una especie de compensación de la cobertura por aumento de la tasa de aplicación ya sea mediante la pulverización con mochila neumática a 240 l.ha<sup>-1</sup> o con el equipo GPS5K a 106 l.ha<sup>-1</sup> (Cuadros 42 y 43).

Los resultados en cuanto al efecto de la carga electrostática en la cobertura, no coinciden con los obtenidos previamente en el cultivo de tomate donde no se obtuvo evidencia de mayor deposición cuando se aplicó a 3 Bar de presión y 170 l.ha<sup>-1</sup>. Una causa probable puede ser el comportamiento diferencial del cultivo, debido a aspectos morfológicos como los discutidos por Law y Lane (1981).

## 9. OPTIMIZACION DEL CONTROL DE THRIPS EN EL CULTIVO DE PIMIENTO MEDIANTE COMPARACION DE PULVERIZACIÓN HIDRÁULICA Y PULVERIZACIÓN CON CARGA ELECTROSTATICA

### 9.1. OBJETIVOS

Evaluar la eficacia de control de thrips (*Thrips sp*) en un cultivo de pimiento en invernadero con pulverización hidráulica de alto volumen y pulverización neumática con carga electrostática

### 9.2. MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se llevó a cabo en un predio cercano a la ciudad de Montevideo. La duración del mismo fue desde el 12 de diciembre al 20 de enero. Al inicio del ensayo, el cultivo se encontraba a una altura de 0,7 m y en plena producción. Las dimensiones del invernadero eran de 60 m de largo y 7,70 m de ancho. El cultivo estaba plantado en canteros con filas dobles orientadas según el lado mayor. La población era de 25.900 plantas por hectárea. El índice de área foliar fue 1,94

#### 9.2.1. Tratamientos

Los mismos se seleccionaron de forma de obtener aplicaciones contrastantes en cuanto al volumen de aplicación y el tamaño de gotas utilizado.

Cuadro 46. Tratamientos evaluados

Tratamiento	Descarga $\text{l.min}^{-1}$	Tasa de aplicación $\text{l.ha}^{-1}$	Descripción
PC	2,8	1000	pulverización hidráulica convencional
ESS+	0,45	170	pulverización neumática con carga electrostática



Para el tratamiento de pulverización hidráulica se utilizó una pulverizadora de carretilla con un puntero de doble boquilla. Las boquillas utilizadas fueron de cono hueco modelo TXA8004 VK (Teejet) a 4 bar. El tamaño de gotas según el fabricante es de 226  $\mu\text{m}$ .

El tratamiento de pulverización neumática fue realizado a 3 bar con el equipo GPS5K ya descrito,

### 9.2.2. Evaluación del control biológico

A efectos de evaluar la eficacia de los tratamientos, se realizó el conteo con lupas *in situ* del número de thrips por flor en 10 flores por parcela. Se realizó un conteo previo al comienzo del ensayo y cuatro conteos posteriores en forma semanal.

### 9.2.3. Diseño experimental y procedimiento de análisis estadístico de los resultados

Se utilizó un diseño de parcelas al azar con cuatro repeticiones. Se dividió el área total del invernadero en 8 parcelas de 58 m<sup>2</sup> asignando al azar 4 parcelas a cada tratamiento.

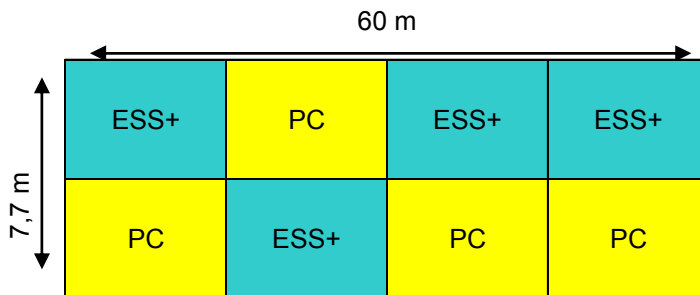


Figura 21. Ubicación de los tratamientos dentro del invernadero

La evaluación del control de thrips se realizó mediante el procedimiento GENMOD (SAS V9.0). Se asumió una distribución binomial negativa de los datos experimentales y se utilizó la función de enlace logarítmica. La comparación de medias se realizó mediante la prueba de comparación de razones de

verosimilitud. Diferencias entre medias con probabilidad de error tipo I mayores al 5 % fueron consideradas iguales según la prueba  $\chi^2$

#### 9.2.4. Aplicaciones realizadas

Los tratamientos fueron los indicados por el técnico asesor. Se mantuvo constante la cantidad de ingrediente activo por unidad de superficie mediante la concentración diferencial en función de la tasa de aplicación utilizada en cada tratamiento. En el período del ensayo se realizaron dos tratamientos para el control de thrips.

Cuadro 47. Aplicaciones realizadas

Fecha	Día	Nombre comercial	Sustancia Activa	Aptitud	Dosis c/100 l
11-12	0	Draza	methiocarb	fungicida	150 g
26-12	11	Draza	methiocarb	insecticida	150 g
"	"	Quadris	azoxystrobin	fungicida	40 cm <sup>3</sup>

### 9.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

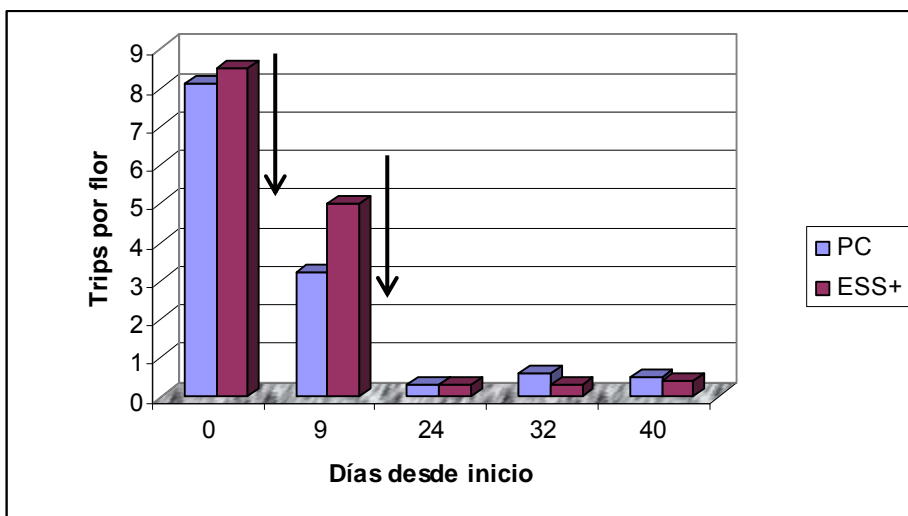


Figura 22. Thrips por flor en pimiento (Las flechas indican los dos momentos de aplicación: días 0 y 11)

Cuadro 48. Evolución del N° de Thrips por flor en pimiento

Tratamiento	Día desde inicio				
	0	9	24	32	40
PC	8,1 a	3,2 b	0,3 a	0,6 a	0,5 a
ESS+	8,5 a	5,0 a	0,3 a	0,3 a	0,4 a

Nota: Medias identificadas con igual letra no difieren significativamente entre sí con  $p < 0,05$  según la prueba de comparación de razones de verosimilitud ( $\chi^2$ ).

El conteo del día "0", fue realizado inmediatamente antes de la primera aplicación. A partir del día 24 los dos tratamientos evaluados fueron igualmente eficaces en el control de thrips.

El peor control logrado por el tratamiento con carga electrostática (ESS+) a los nueve días de la primera aplicación se atribuye a un error en la aplicación, dado que en esa fecha se produjo un sobrante de caldo que debería haber sido reaplicado.

A partir de los 24 días los tratamientos ya no se diferencian y la población se mantiene muy baja. Sin embargo, visto que el daño que producen los thrips es debido a la transmisión de virus, solo una rápida y completa eliminación puede asegurar una sobrevivencia económicamente viable del cultivo.

La eficacia obtenida con ambos métodos se debe asociar en primer lugar a que el producto utilizado: los momentos de aplicación y la dosis utilizadas fueron correctos. Por otro lado, los thrips se alimentan preferentemente en las flores (Nuez et al., 1995), donde el acceso de los productos es fácil por su disposición en el extremo de los brotes y la parte externa del follaje pudiendo ser esta la causa del buen comportamiento del tratamiento convencional

## **10. OPTIMIZACION DE LOS TRATAMIENTOS FITOSANITARIOS EN INVERNADEROS MEDIANTE LA UTILIZACION DE LA NEBULIZACION EN FRIO EN UN CULTIVO DE PIMIENTO**

### **10.1. OBJETIVOS**

Evaluar la calidad de distribución del caldo pulverizado y la eficacia biológica de los tratamientos para el control de thrips (*Thrips sp.*) y Oídio (*Leveillula taurica* (Lèv) G. Arnaud) mediante la utilización de un nebulizador en un invernadero de pimiento.

### **10.2. MATERIALES Y MÉTODOS**

El ensayo se instaló en el predio de un productor colaborador en las cercanías de Montevideo. Se utilizó un invernadero conocido por su forma como “capilla” de 56 m de largo y 14,40 m de ancho. La altura mínima en los lados era de dos metros y la máxima en la cumbre de 3,5 m. El volumen total era 2.420 m<sup>3</sup>. Adosado al lado mayor existía otro invernadero con pimiento de idénticas dimensiones. A efectos de aislar ambos, se colocó una cortina de polietileno que se desplegaba para la realización de los tratamientos.



Figura 23. Vista del invernadero con el nebulizador colocado en altura

El cultivo fue plantado en canteros distanciados a 1.8 m. En cada cantero una fila de plantas conducida en dos planos mediante malla plástica. La distancia entre plantas era de 0,40 m. La población inicial era 13.900 plantas por hectárea. El cultivar plantado fue Yatasto, un cultivar con poca resistencia al virus de la peste negra (Tomato Spotted Wilt Virus).

### 10.2.1. Descripción del equipo utilizado

Fabricante Curtis Dynafog, modelo Nightstar®.

Se trata de equipo conocido como nebulizador frío (por contraposición a los termonebulizadores), diseñado para aplicar en forma automática preferentemente por la noche con el invernadero totalmente cerrado. Cuenta con un ventilador de flujo axial accionado directamente por un motor eléctrico que impulsa el líquido pulverizado con la finalidad de que alcance toda el área cubierta del invernadero. Consta de otro ventilador centrífugo para presurizar el depósito de caldo, impulsar el líquido hasta una boquilla neumática y pulverizarlo en el centro del ventilador axial. Como accesorios posee un sistema de agitación con bomba de circulación y un depósito para enjuague automático del circuito.

Cuadro 49. Principales características técnicas del equipo

Potencia Nominal	0,745 kW.
Caudal Nominal del ventilador	226 m <sup>3</sup> .min <sup>-1</sup>
Diámetro Exterior del ventilador	0,56 m
Capacidad del depósito	11,4 l
Caudal de pulverización	0,03 a 0,26 l.min. <sup>-1</sup>
Tipo de boquilla	neumática
Caudal de aire de la boquilla	3 m <sup>3</sup> .min <sup>-1</sup>
Tamaño de gotas	8, 20, 30, 50 µm

Los diferentes tamaños de gotas, se obtienen mediante la regulación de la presión del depósito de caldo. Cuenta con orificios calibrados

intercambiables que regulan la evacuación de aire del depósito. A mayor presión del depósito, aumenta el caudal hacia la boquilla neumática y se obtienen gotas de mayor tamaño.



Figura 24. Vista del nebulizador

Según el fabricante, durante la utilización del equipo podría esperarse un comportamiento como el de la figura 25 (pág. 117). Se observa la representación de las líneas de flujo de un movimiento estacionario, permanentemente simétrico, y que se extiende en la longitud total de un recinto de hasta 120 m de longitud y 40 m de ancho. De utilizarse ventiladores auxiliares, esa distancia podría ser aún mayor.

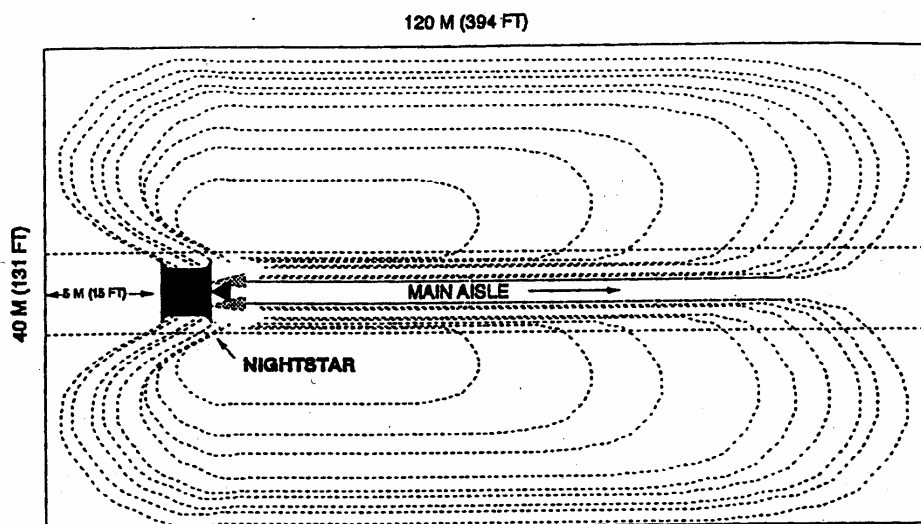


Figura 25. Esquema de colocación y alcance del nebulizador según el fabricante

El ciclo de aplicación se resume en las siguientes etapas, en las que se muestran tiempos representativos de cada una:

Etapa	Tiempo
pre circulación de aire	15 minutos
inyección de producto	20 minutos
enjuague	5 minutos
post circulación de aire	15 minutos

Dentro de éste ciclo, el tiempo de inyección del producto es regulable, mientras los otros están prefijados por el fabricante. Esto proporciona un tiempo global cercano a una hora (55 minutos), lo que constituye una escala de tiempo de referencia en la que interesa evaluar las características del flujo en cuanto a su capacidad de mezcla y de establecer una distribución uniforme del producto en la atmósfera del invernáculo.

Otra escala de tiempo de referencia resulta de considerar el tiempo que demora el ventilador en impulsar un volumen igual al volumen total de aire dentro del invernáculo. Este tiempo, resulta ser próximo a los 11 minutos,

para el invernáculo utilizado lo cual indicaría que los tiempos de pre y post circulación sugeridos por el fabricante son ajustados y eventualmente escasos.

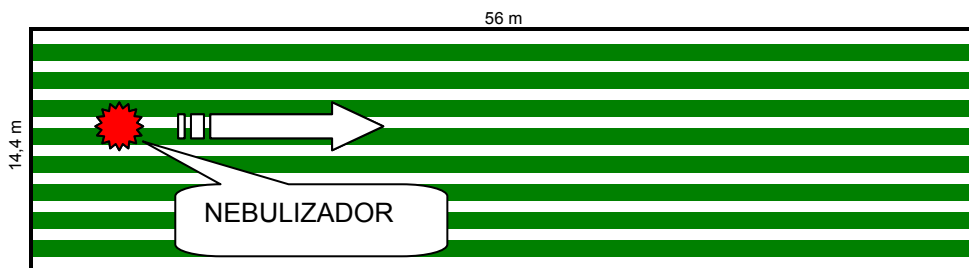


Figura 26. Ubicación del equipo dentro del invernadero

Las fajas verdes en la figura 26 representan los canteros de pimiento mientras que las fajas blancas son las entrefilas.

Tomando el lado menor del invernadero como el eje de abscisas y el lado mayor como el eje de ordenadas de un par de coordenadas cartesianas, el nebulizador se ubicó en el punto  $x=5,4$ ;  $y=6$ . De esa forma la distancia desde el equipo al fondo del invernadero era de 50 m. Si bien hubiera sido preferible su ubicación en el plano medio, esto no se podía por la presencia de las columnas de madera de la cumbrera que obstaculizarían la dispersión del producto.

#### **10.2.2. Evaluación de la cobertura sobre el follaje y sobre blancos inertes**

La evaluación de la cantidad de producto depositado se realizó mediante aplicación de 10 l agua con el agregado del trazador fluorescente BLANKOPHOR BA 267 %<sup>®</sup>, con una concentración del 3%. No se agregaron fitosanitarios ni tensoactivos con el objetivo de intentar mantener individualizado cada impacto.

Para evaluar la distribución del caldo sin la interferencia del follaje, se procedió a distribuir en todas las entrefilas del cultivo blancos inertes



consistentes en dos cubreobjetos de vidrio de 22 mm de lado por ubicación. Los mismos se colocaron sobre soportes a un metro de altura. En total se ubicaron 70 estaciones de muestreo a lo largo y ancho del invernadero. (Ver figura 27)



Figura 27. Vista de los muestreadores colocados a lo largo de una fila del invernadero

Un juego de cubreobjetos fue utilizado para cuantificar el depósito mediante espectrofluorometría. El lavado, con agua destilada, se realizó con volumen variable a efectos de que la concentración estuviera dentro del rango de la curva de calibración del trazador. De cada muestra se prepararon y titularon 3 celdas. La fluorescencia observada de cada celda fue el promedio de dos lecturas. Se utilizó un espectrofluorómetro Shimadzu RF-150.1X. Se ajustó una curva de calibración del trazador con longitud de onda excitación de 365 nm y emisión 445 nm (Piché et al., 2000) (Figura 28).



Figura 28. Espectrofluorómetro utilizado

El segundo juego de cubreobjetos fue utilizado para analizar la estructura del depósito mediante análisis de imagen. Para ello se montó un dispositivo para digitalizar las imágenes mediante escáner de mesa y luz negra (figura 29)

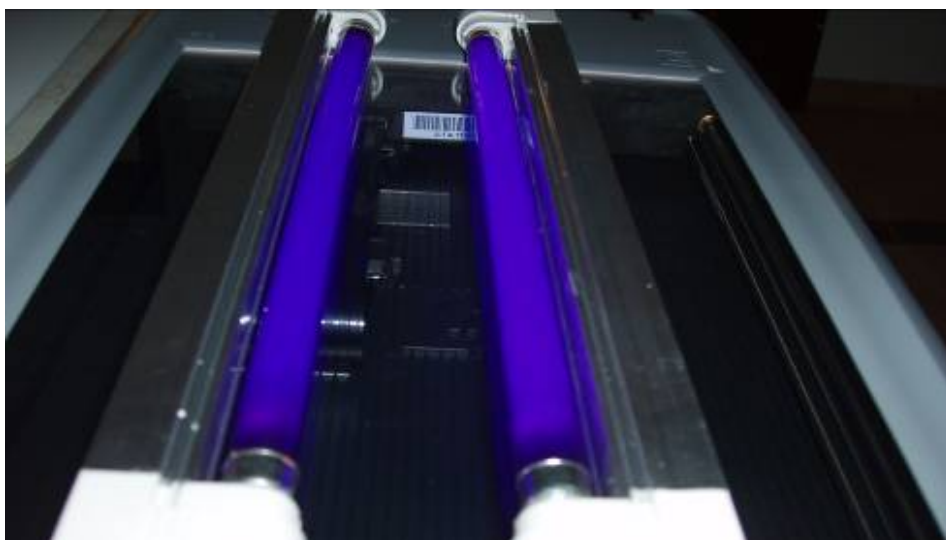


Figura 29. Dispositivo para la digitalización de blancos de vidrio

El escáner utilizado fue un HP Scanjet G3010. Se adoptó una resolución óptica de 2400 píxeles por pulgada (ppp). Si bien el equipo permite resolución óptica de 4800 ppp, el tiempo de digitalización aumentaba considerablemente y el tamaño de los archivos resultaba demasiado grande en relación a la capacidad del equipo informático disponible.

Las imágenes en color fueron binarizadas en forma manual. Mediante su análisis se obtuvo la proporción cubierta, la densidad de impactos y el área de cada uno de ellos.

El área por impacto fue transformada expresando su valor como diámetro independiente de su forma. Con el mismo se calculó el diámetro medio y el diámetro mediano volumétrico de los impactos (DMV). No se realizaron ajustes entre tamaño de impactos y tamaños de gota. Se calculó el diámetro mediano numérico (DMN). Para analizar la dispersión del tamaño de los impactos se calculó el cociente entre ambos valores ( $DMV \cdot DMN^{-1}$ ). El diámetro de un círculo de área igual a un pixel fue 12  $\mu\text{m}$ , categoría en la que se detectaron muchos impactos. Los programas utilizados fueron el Corel PHOTO-PAINT 11 y Matrox Inspector 2.2.

Para la evaluación del depósito sobre el follaje se realizó el conteo de impactos en el haz y envés de las hojas. Se tomaron muestras en doce puntos dentro del invernadero. En cada uno de ellos se extrajeron cinco hojas al azar de tres posiciones, superior, exterior e interior (S, E e I respectivamente). La altura de muestreo exterior e interior fue a un metro desde el suelo. La parte inferior del cultivo estaba deshojada por lo cual no fue posible el muestreo a ese nivel. Se realizaron 5 conteos al azar por hoja sobre un área de  $1/16 \text{ cm}^{-2}$  cada uno.

El conteo se realizó mediante microscopio estereoscópico e iluminación con luz negra.

### 10.2.3. Evaluación de la intensidad del flujo de aire

La evaluación de la velocidad del aire en toda el área del invernadero se realizó a los efectos de establecer posibles relaciones con la cantidad de líquido depositado. Se utilizó un anemómetro digital con sensor de esfera caliente marca Testo modelo 445 con un rango de medición de  $0 - 20 \text{ m.s}^{-1}$  y una resolución de  $0,01 \text{ m.s}^{-1}$ . No se registró la dirección de la corriente de aire en el entendido que la distribución de líquido está fundamentalmente asociado al módulo de la velocidad (Usera et al., 2002). Se determinó la velocidad de aire mínima y máxima a lo largo de cuatro entrefilas a lo largo del invernadero totalizando 32 sitios de muestreo. Las medidas fueron tomadas a la misma altura del nebulizador. Para interferir lo menos posible con la corriente de aire, se registraba la velocidad de la hilera contigua al lugar donde se sostenía el instrumento.



Figura 30. Anemómetro con sensor de esfera caliente utilizado en invernadero de pimiento

#### 10.2.4. Evaluación del control biológico

Cuadro 50. Ubicación de sectores de muestreo para la evaluación del control biológico de Thrips y Oídio.

X	Y		
	0 a 20 m	20 a 40 m	40 a 56 m
1,8 m	1	2	3
7,2 m	4	5	6
12,6 m	7	8	9

A efectos de caracterizar la evolución sanitaria del cultivo se marcaron nueve sectores de muestreo de plagas y enfermedades (cuadro 50).

La eficacia del control de thrips fue determinada mediante el conteo del total de individuos (ninfas y adultos) por flor en 12 flores al azar por sitio de muestreo. La severidad del ataque de thrips fue estimada directamente a través del nº de individuos totales por flor. La incidencia fue calculada como el porcentaje de flores con thrips por cada sitio de muestreo.

Para la evaluación de oídio, se procedió al conteo de colonias del hongo con micelio activo en el envés de 20 hojas por sitio de muestreo. Se realizaron 19 evaluaciones en forma semanal para evaluación de plagas y enfermedades desde el seis de diciembre al veintisiete de abril.

#### 10.2.5. Diseño experimental y procedimiento de análisis estadístico de los resultados

El análisis estadístico del control de thrips y de oídio se realizó mediante el procedimiento GENMOD (SAS V9.0). Se asumió una distribución binomial negativa de los datos experimentales y se utilizó la función de enlace logarítmica. La comparación de medias se realizó mediante la prueba de comparación de razones de verosimilitud. Diferencias entre medias con probabilidad de error tipo I mayores al 5 % fueron consideradas iguales según la prueba  $\chi^2$

El mismo procedimiento se utilizó para el análisis de la densidad de impactos por unidad de superficie.

### 10.2.6. Aplicaciones realizadas

Los tratamientos fueron los indicados por el técnico asesor. Se realizaron once tratamientos entre el 11 de diciembre y el 20 de marzo 2007. La tasa de aplicación utilizada fue de  $120 \text{ l.ha}^{-1}$  (10 l de caldo por tratamiento).

Cuadro 51. Tratamientos y productos utilizados

Fecha	DDI*	Nombre comercial	Sustancia Activa	Aptitud	Cantidad aplicada
11-dic	5	Tamaron	metamidofos	insecticida	120 cm <sup>3</sup>
		Curafrutal LV	aceite emuls.	insecticida	250 cm <sup>3</sup>
25-dic	19	Orthene	acefato	insecticida	150 g
		Systhane	myclobutanil	fungicida	40 g
31-dic	25	Systhane	myclobutanil	fungicida	40 g
3-ene	28	Tracer	spinosad	insecticida	30 cm <sup>3</sup>
		Taspa	difenoconazol+		
			propiconazol	fungicida	80 cm <sup>3</sup>
		Curafrutal LV	-	-	250 cm <sup>3</sup>
6-ene	31	Prodigy	abamectina	insect/acar	160 cm <sup>3</sup>
		Acarin	dicofol	acaricida	400 cm <sup>3</sup>
		Curafrutal LV	-	-	700 cm <sup>3</sup>
13-ene	38	Score	difenoconazol	fungicida	50 cm <sup>3</sup>
26-ene	51	Imidatech	imidacloprid	insecticida	150 cm <sup>3</sup>
		Taspa	-	-	80 cm <sup>3</sup>
26-feb	82	Tracer	-	-	30 cm <sup>3</sup>
8-mar	92	Taspa	-	-	50 cm <sup>3</sup>
20-mar	104	Systhane	-	-	20 g
		Cuneb	ortofosfito potásico	fungicida	200 g
11-abr	126	Elax	hexaconazole	fungicida	75 cm <sup>3</sup>
		Carbendaflow	carbendazim	fungicida	375 cm <sup>3</sup>

\*DDI: Días desde inicio de las aplicaciones.

Se colocó en el depósito el orificio calibrado correspondiente al mayor volumen y tamaño de gotas (50  $\mu\text{m}$  según manual del fabricante). Si bien estos equipos pueden operar a tasas de aplicación muy bajas, la incertidumbre sobre su eficacia indicó utilizar el volumen mencionado

### 10.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 10.3.1. Cobertura sobre el follaje

El promedio general fue de 1828 impactos. $\text{cm}^{-2}$  y el coeficiente de variación 48 %. El análisis estadístico permitió diferenciar la densidad de impactos en diferentes zonas del invernadero. Sin embargo, no hubo diferencias asociadas a la ubicación en diferentes partes del follaje (cuadro 52). Esto coincide con Derksen y Sanderson (1996), quienes encontraron mayor uniformidad entre estratos con el uso de un nebulizador en comparación con otras técnicas de pulverización.

Cuadro 52. Densidad de impactos sobre el haz de las hojas

Posición en el follaje	Impactos. $\text{cm}^{-2}$
Superior	1836 a
Exterior	1845 a
Interior	1802 a

\* Nota: Medias identificadas con igual letra no difieren significativamente entre sí con  $p < 0,05$  según la prueba de comparación de razones de verosimilitud ( $\chi^2$ ).

La observación de las hojas bajo luz negra, evidenció la total ausencia de gotas depositadas en el envés. Excepcionalmente, y debido a presencia de alguna hoja retorcida se podía observar allí algún depósito. Este hallazgo, difiere radicalmente con los reportados por Austerweil et al. (2000). El referido autor analizando recuperación sobre papeles de filtro observa mayor depósito en el envés que en el haz. Derksen y Sanderson (1996), también observan menores depósitos en el envés determinados mediante fluorometría.

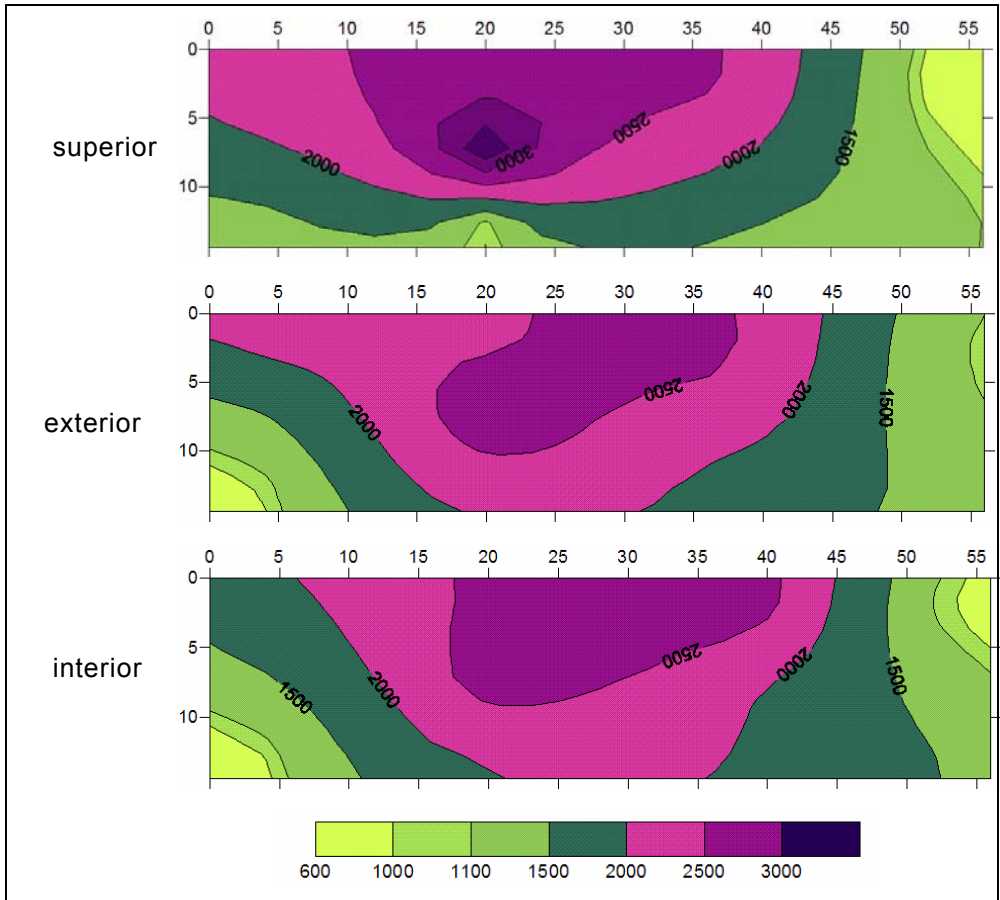


Figura 31. Impactos por  $\text{cm}^{-2}$  en el haz de las hojas según estrato.

La cantidad de impactos observada es alta, disminuyendo a medida que aumenta la distancia al nebulizador (figura 31). Dentro de cada posición, los valores en los tres estratos resultan ser muy similares, aspecto esta vez sí coincidente con Austerweil et al. (2000).

### 10.3.2. Deposición sobre blancos artificiales

En el cuadro 53 se observa la cantidad de trazador recuperado dentro del invernadero. Las observaciones están ordenadas según las coordenadas definidas. La fila inferior y la columna derecha representan promedios de columnas y filas respectivamente. La celda inferior derecha es la media general.



Cuadro 53. Distribución de producto dentro del invernadero mediante recuperación de trazador sobre blancos artificiales ( $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ )

X(m)	Y(m)										Prom.
	2	8	12	18	24	30	36	42	48	54	
1,8	0,91	1,15	1,50	2,21	2,77	2,47	1,90	1,30	0,32	0,22	1,48
3,6	0,99	1,35	3,29	9,71	6,02	2,82	2,22	1,56	0,59	0,20	2,88
5,4	--	1,30	15,45	6,27	3,57	1,86	2,07	1,68	0,89	0,27	3,71
7,2	0,86	2,10	4,41	2,85	3,54	3,25	2,49	1,58	0,81	0,32	2,22
9	0,72	0,81	1,98	1,49	2,00	1,90	1,92	1,43	0,52	0,19	1,30
10,8	0,69	0,46	1,14	1,69	1,56	2,05	1,72	0,88	0,21	0,30	1,07
12,6	0,36	0,52	0,62	0,74	1,10	1,49	0,78	0,53	0,28	0,32	0,67
Prom.	0,76	1,10	4,06	3,56	2,94	2,26	1,87	1,28	0,52	0,26	1,88

El coeficiente de variación de la deposición observada fue de 121 %.

En la fila donde se ubicó el pulverizador ( $x = 5,4 \text{ m}$ ) se obtuvo la mayor recuperación. Se nota claramente la tendencia a la disminución de la deposición con el alejamiento del equipo en las dos direcciones. También se observa la asimetría de los depósitos en relación al eje mayor ( $x = 7,2$ ) debido a la ubicación del equipo fuera de centro.

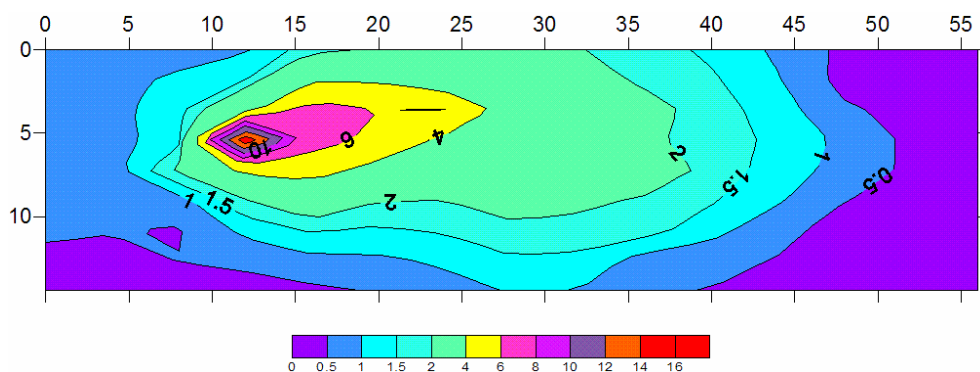


Figura 32. Curvas de iso-deposición dentro del invernadero. Líneas unen puntos de igual tasa de deposición ( $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ )

La disminución del depósito en función de la distancia es un hecho esperable y coincide con los resultados de otros investigadores (Usera et al., 2000; Wigoda y Rietz, 1996).

### 10.3.3. Caracterización del flujo de aire y su relación con la distribución de líquido

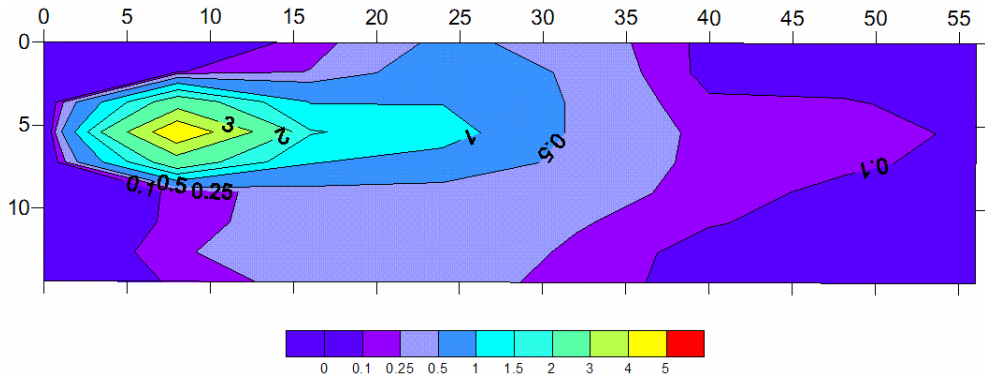


Figura 33. Curvas de iso - velocidad del aire dentro del invernadero. Líneas unen puntos de igual velocidad máxima ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ).

La distribución de la intensidad máxima del viento (figura 33), presenta gran similitud con la deposición sobre blancos artificiales (figura 32). Este hecho sugiere que el proceso de distribución es producido principalmente por la intensidad del viento en cada punto. Usera et al. (2002), había determinado una muy baja deposición cuando colocó muestreadores luego de apagar el equipo y consideró la importancia de la velocidad del aire por encima de otros mecanismos de deposición.

Al igual que fuera establecido por Usera et al. (2002), el flujo de aire del ventilador se caracterizó por su carácter no estacionario. La oscilación periódica que presenta genera variaciones para cada punto relevado que varían entre las velocidades máxima y mínima observadas (cuadro 54).

Cuadro 54. Distribución de la velocidad del aire producida por el nebulizador:

X(m)		Y(m)							
		2	8	16	24	32	40	48	54
a*	1,8	0,14	0,09	0,26	0,74	0,45	0,04	0,00	0,00
	5,4	0,09	4,93	1,54	1,22	0,43	0,20	0,24	0,09
	9	0,00	0,14	0,38	0,35	0,33	0,19	0,04	0,01
	12,6	0,00	0,22	0,42	0,42	0,21	0,03	0,03	0,01
b*	1,8	0,08	0,03	0,06	0,33	0,21	0,00	0,00	0,00
	5,4	0,01	4,12	0,94	0,55	0,19	0,04	0,07	0,00
	9	0,01	0,00	0,16	0,13	0,05	0,00	0,00	0,00
	12,6	0,00	0,12	0,28	0,24	0,10	0,00	0,00	0,00

Nota: a y b velocidad máxima y velocidad mínima respectivamente en  $m \cdot s^{-1}$ .

La oscilación del flujo, operaría según el autor, como un factor positivo, en el sentido de producir mayor velocidad del aire hacia los costados de la línea central que si el flujo fuera estacionario. Se confirma nuevamente que la caracterización establecida por el fabricante no representa adecuadamente el proceso de flujo de aire esperable dentro del invernadero.

En la figura 34 se presenta la variación de la velocidad máxima del viento y la deposición del trazador en sentido longitudinal para cada entrefila. La similitud de las curvas obtenidas vuelve a sugerir una fuerte asociación.

La Gráfica (x=5,4), corresponde a la línea de colocación del nebulizador. El máximo de deposición se observa a ocho metros delante del nebulizador debido a su colocación a dos metros de altura.

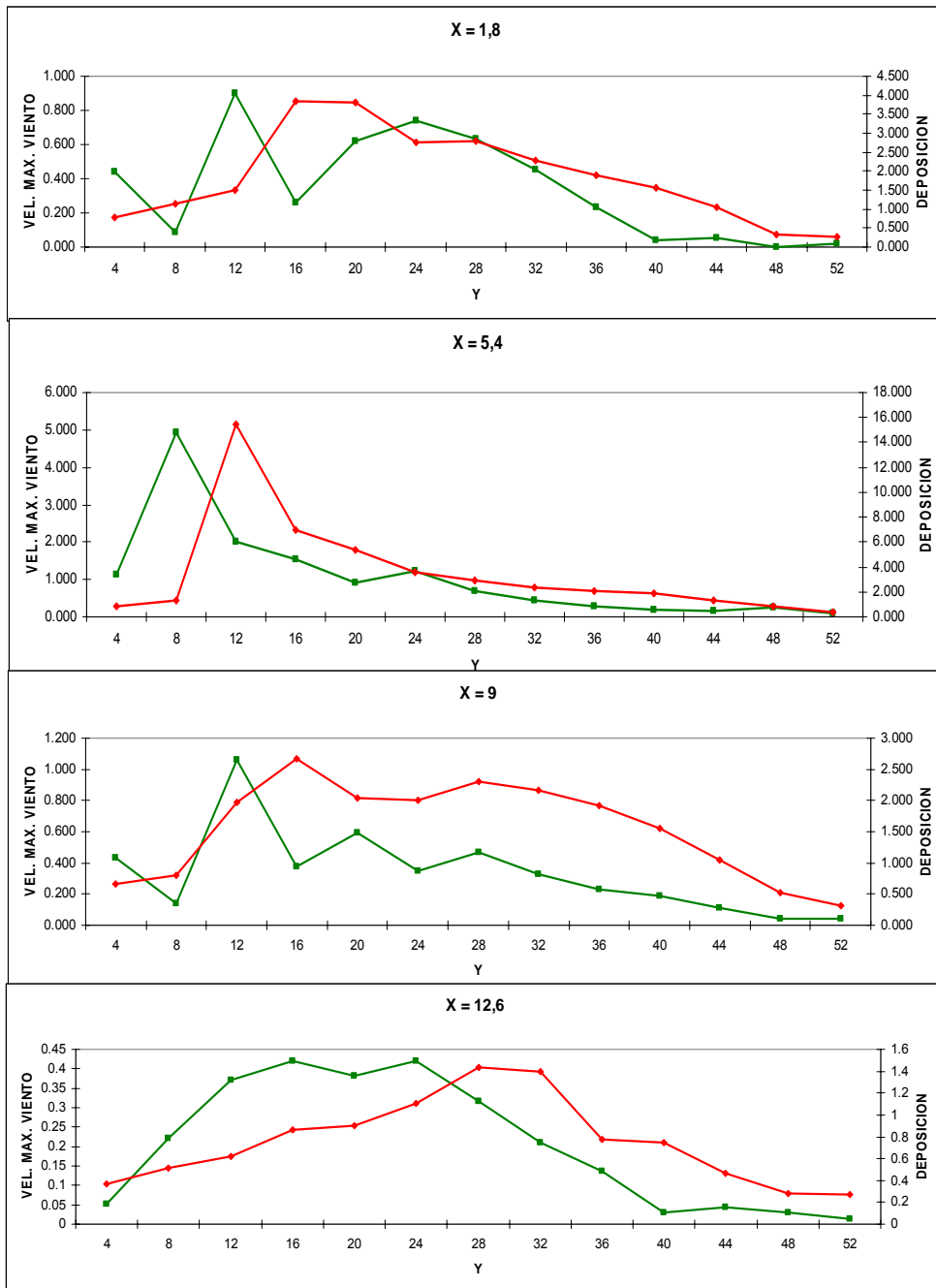


Figura 34. Velocidad máxima del viento y deposición sobre blancos inertes en cortes longitudinales. (m.s<sup>-1</sup> —■—; µg.cm<sup>-2</sup> —■—)

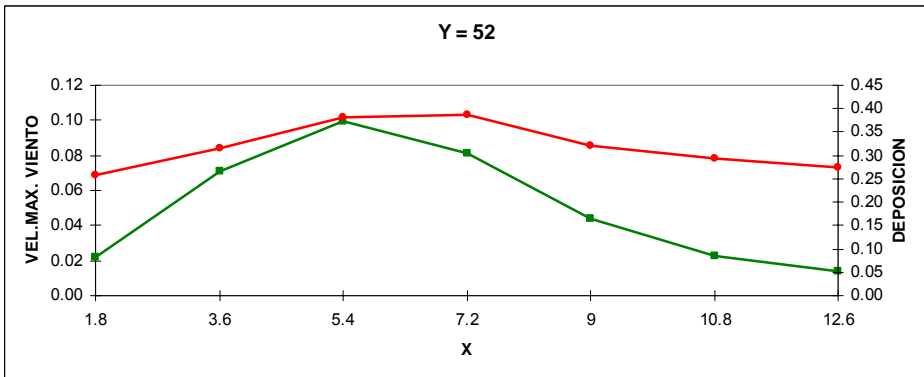
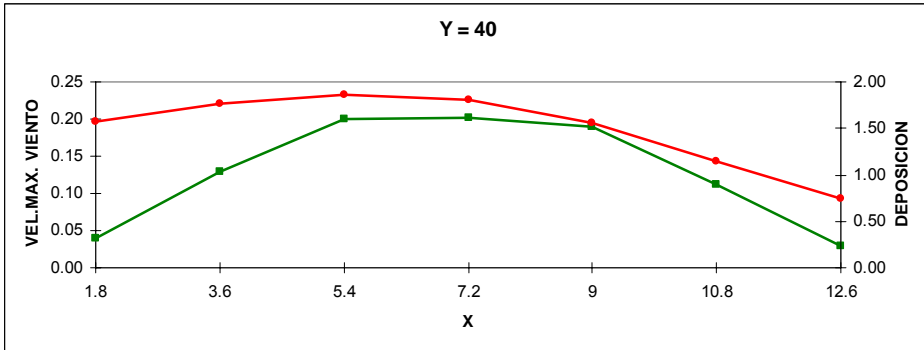
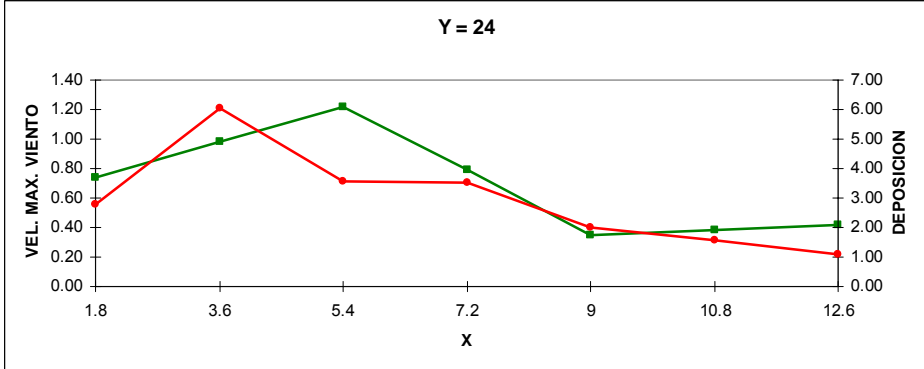
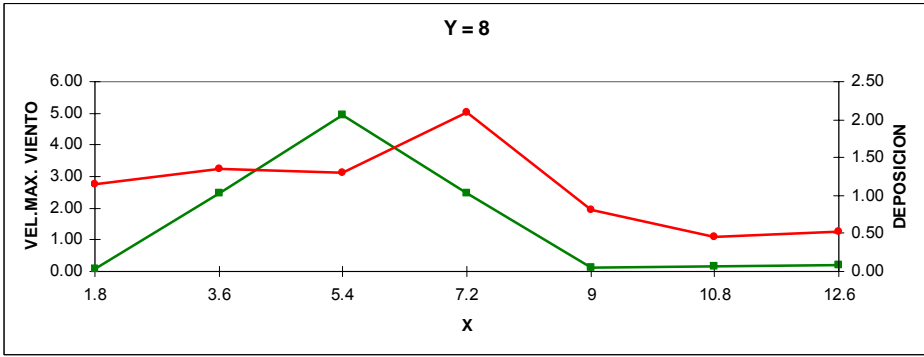


Figura 35. Velocidad máxima del viento y deposición sobre blancos inertes en algunos cortes transversales. (m.s<sup>-1</sup> ■; μg.cm<sup>-2</sup> ●)

En la figura 35 se observan tendencias similares en sentido transversal, además del efecto de asimetría debido a la colocación del nebulizador desplazado del eje principal del invernadero.

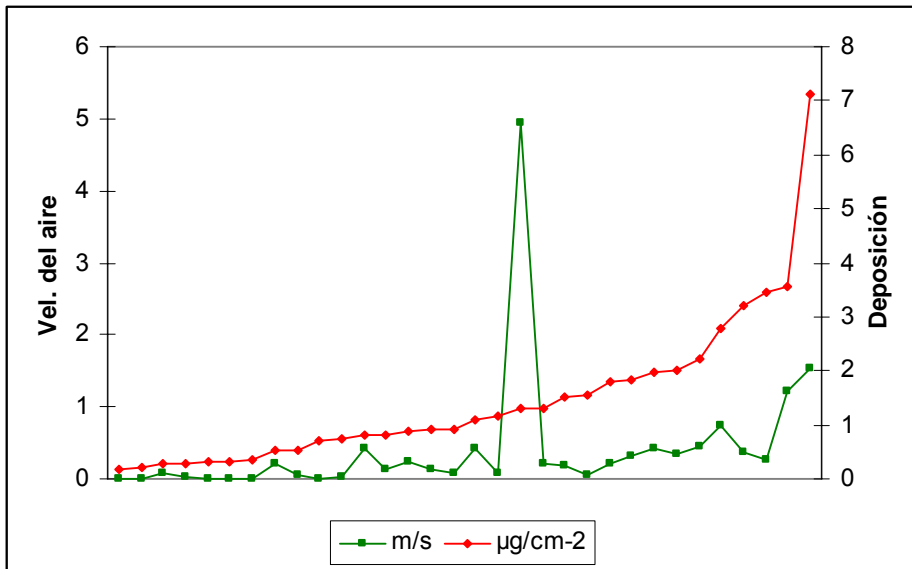


Figura 36. Recuperación de trazador en orden creciente y sus correspondientes valores de velocidad de aire.

Ordenando todos los valores de deposición en orden creciente (figura 36) se observa su relación con la velocidad del aire. Sin embargo hay por lo menos un dato donde el comportamiento es atípico. Las coordenadas del mismo son  $x=5,4$ ;  $y=8$ . Se trata del punto colocado a dos metros enfrente del nebulizador.

**Cuadro 55.** Correlación entre la intensidad máxima del viento y la deposición de líquido pulverizado

datos incluidos*	R	nº obs.	prob.	Int. Confianza 95%
a)	0,314	31	0,0849	-0,044
b)	0,874	30	0,0000	0,749

\*Nota: a) Todo el invernadero; b) Todo el invernadero excluido punto  $x=5,4$ ;  $y=8$

Según el cuadro 55, la correlación entre la deposición y la velocidad del aire es moderadamente alta cuando se elimina el valor máximo de

velocidad de aire obtenido inmediatamente por delante del nebulizador. Esto es coherente con los resultados obtenidos por Usera et al. (2002) quien reporta que el máximo de deposición no coincide con el máximo de velocidad de aire, aspecto explicado por la trayectoria de las gotas. También Wygoda y Rietz (1996), obtiene los máximos de recuperación entre dos y cuatro metros por delante del nebulizador.

La correlación observada permite pensar que la adecuación de un nebulizador a determinado invernadero a efectos de lograr una distribución aceptable de fitosanitarios, puede realizarse en forma aproximada mediante un simple estudio de la distribución de la velocidad del aire.

Analizando la fila donde se colocó el nebulizador, se verifica que el decrecimiento de la velocidad del aire en función de la distancia en dirección longitudinal se ajusta a un modelo exponencial. El mismo comportamiento se observa para la deposición en esa línea (cuadro 56).

Cuadro 56. Modelos de ajuste de la velocidad de aire y deposición en la línea de colocación del nebulizador.

	Velocidad	Deposición
modelo	$V = \exp(1,4870 - 0,0804*Y)$	$D = \exp(2,9304 - 0,0798*Y)$
coef de correlación	$r = -0,975$	$r = -0,959$
notas	V: velocidad del aire; $m.s^{-1}$ Y: distancia desde el ventilador en m.	D: deposición en $\mu g.cm^{-2}$ Y: distancia desde el ventilador en m.

### 10.3.4. Estructura de los depósitos sobre blancos artificiales

Las imágenes obtenidas de los blancos artificiales permitieron evaluar la cobertura, densidad de impactos y su tamaño en todo el invernadero.

Cuadro 57. Cobertura sobre blancos artificiales

	Y (m)										
	2	8	12	18	24	30	36	42	48	54	
	1.8	0,043	0,035	0,050	0,115	0,126	0,147	0,061	0,035	0,006	0,004
	3.6	0,037	0,098	0,200	0,384	0,146	0,129	0,079	0,041	0,014	0,008
	5.4	s/d	0,123	0,509	0,315	0,163	0,090	0,170	0,107	0,038	0,008
X	7.2	0,036	0,136	0,205	0,109	0,125	0,102	0,134	0,057	0,031	0,030
	9	0,031	0,024	0,060	0,028	0,054	0,250	0,220	0,134	0,039	0,012
	10.8	0,038	0,027	0,045	0,069	0,040	0,163	0,110	0,043	0,008	0,014
	12.6	0,039	0,066	0,036	0,047	0,094	0,159	0,055	0,035	0,008	0,014

\*Nota: Los valores expresan la proporción de la superficie del blanco artificial cubierta por impactos

Cuadro 58. Densidad de impactos sobre blancos artificiales (impactos.cm<sup>-2</sup>)

	Y(m)										
	2	8	12	18	24	30	36	42	48	54	
	1.8	3406	2858	4061	3625	5633	5690	4223	2804	882	503
	3.6	3099	4768	4323	2600	5038	6053	4727	3838	1766	889
	5.4	s/d	4980	2449	4586	5475	4771	4433	4421	2865	925
X	7.2	3059	4740	3371	4590	5058	5335	5233	3872	2079	2053
	9	1923	1813	3394	1805	3632	3870	4063	4080	2305	1135
	10.8	2192	2018	3481	3465	3055	4813	4704	3292	995	1624
	12.6	2677	3317	2984	3283	3914	4405	3665	2266	892	1320

La distribución de la cobertura y la densidad de impactos (cuadro 57 y 58) siguen un patrón similar a la deposición (cuadro 52). Tanto la cobertura como la deposición, obtuvieron sus valores máximos frente al equipo (x:5,4; y:12). Ello no fue así para la densidad de impactos debido al gran tamaño de los mismos y su sobreposición en ese punto.



Cuadro 59. Diámetro medio de los impactos sobre blancos artificiales ( $\mu\text{m}$ )

		Y(m)									
		2	8	12	18	24	30	36	42	48	54
X	1.8	40	34	36	46	46	53	39	38	29	28
	3.6	39	47	56	84	48	45	40	35	29	28
	5.4	s/d	48	70	64	50	42	61	48	36	31
	7.2	36	51	56	45	49	47	50	38	35	34
	9	41	38	43	40	44	70	68	53	37	30
	10.8	43	37	41	43	36	55	48	40	29	31
	12.6	41	46	37	40	46	58	41	37	29	32

El tamaño de los impactos disminuye con la distancia al pulverizador (cuadro 59). Esto está asociado a la capacidad de la corriente de aire de impulsar y mantener en suspensión las gotas.

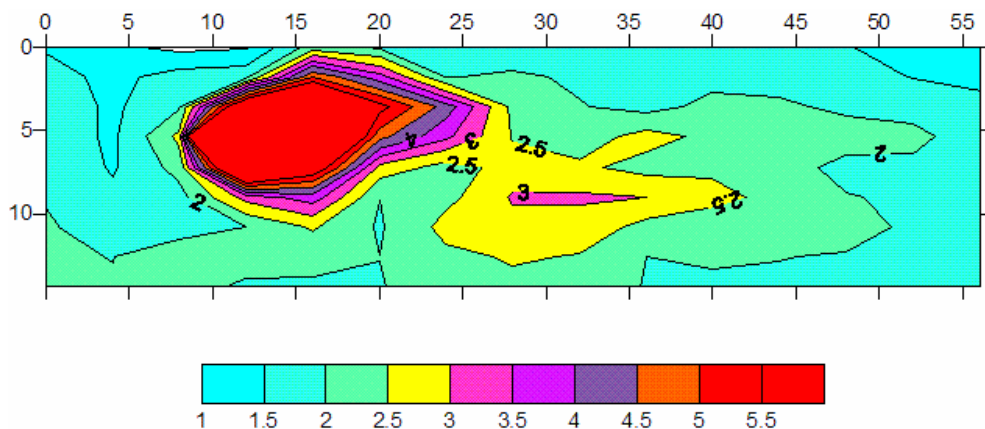


Figura 37. Dispersión del tamaño de impactos (DMV/DMN)

La heterogeneidad del tamaño de los impactos evaluada como el cociente entre los diámetros medianos volumétrico y numérico (figura 37), es mucho mayor en las cercanías del nebulizador debido a la “caída” de las gotas de mayor tamaño. Esto, junto con el decaimiento de la velocidad del aire, son los factores determinantes en el decrecimiento de la deposición en función de la distancia.

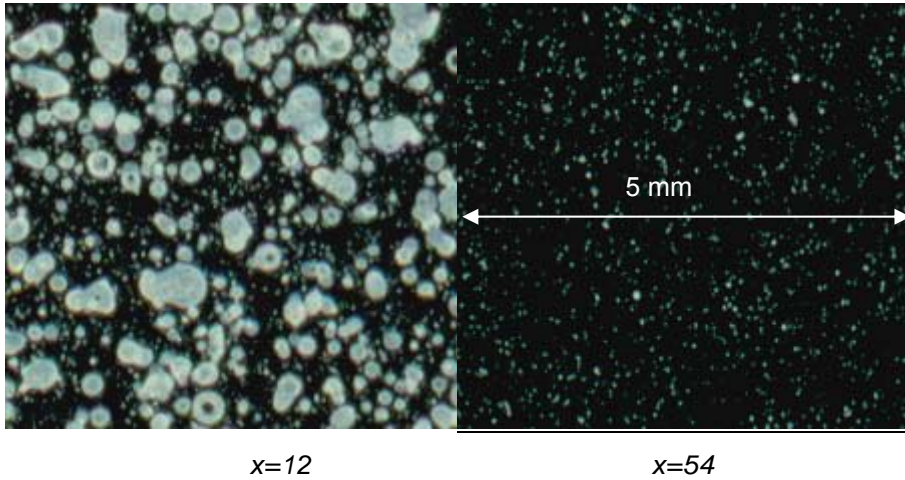


Figura 38. Muestra de imágenes de blanco inerte en línea del nebulizador

En la figura 38 a la izquierda se observa parte de la imagen obtenida en la zona de máxima cobertura y deposición seis metros por delante del nebulizador. A la derecha el último blanco a 48 m de distancia del equipo.

La mayor deposición en las cercanías del nebulizador produjo una marcada fitotoxicidad en el tratamiento realizado el 6 de enero (cuadro 42) donde se utilizó aceite emulsionable a una dosis alta (figura 39).

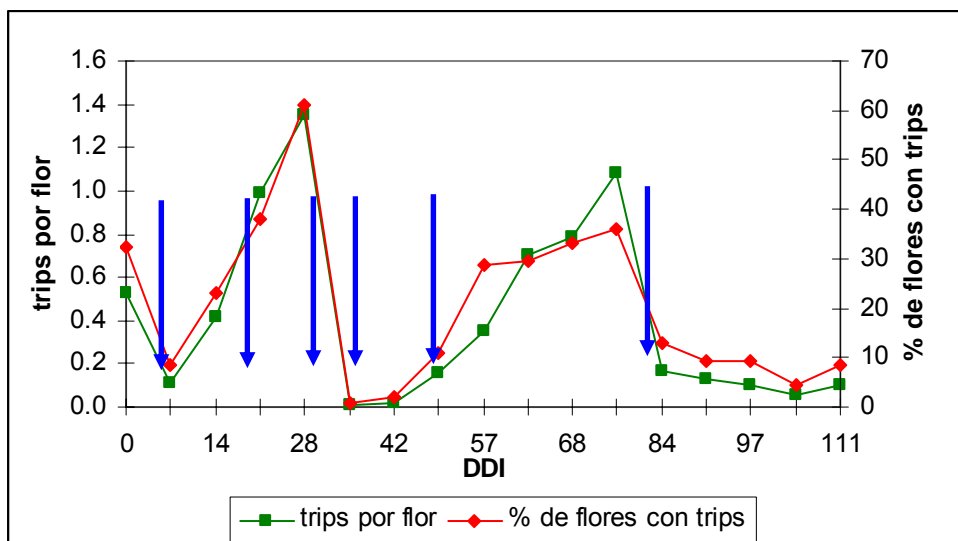


Figura 39. Fitotoxicidad provocada por alta dosis de aceite emulsionable

El daño producido cerca del nebulizador, sobre todo en los tejidos más jóvenes, produjo una detención del desarrollo y sus efectos fueron apreciables hasta fin del ciclo. Los daños por excesiva acumulación de producto cerca del nebulizador son una de las desventajas consideradas por Val (1995) como de necesaria consideración cuando se utilizan estos equipos sin desplazamiento dentro del invernadero.

### 10.3.5. Efectos del uso del nebulizador en el control biológico

#### 10.3.5.1. Eficacia de control de thrips



Nota: las flechas( → ) indican momentos de aplicación.

Figura 40. Evolución del N°. de thrips por flor y % de flores con thrips.

El efecto de las aplicaciones para el control de thrips fue variable según el producto utilizado. Luego de los tratamientos del día 5, 28 y 82 (metamidofos+aceite, spinosad y spinosad respectivamente) se observó un muy marcado descenso en la población de thrips. El resto de los tratamientos no mostró la eficacia esperada. Los tratamientos de los días 19 y 51 realizados con acefato e imidacloprid fueron totalmente inefectivos, aumentando la población luego del tratamiento.

Más allá de la ineficacia de algunos insecticidas utilizados, el control de thrips fue muy bueno. Esto coincide plenamente con Austerweil et al. (2000) que detectó alta eficacia de control de thrips californiano (*Frankliniella occidentalis* Per.). La pérdida de plantas por efecto de la peste negra transmitida por los thrips fue muy baja gracias a la eficacia de su control.

El uso del nebulizador evitó durante los cinco meses de duración del ensayo el ingreso de operarios a aplicar insecticidas.

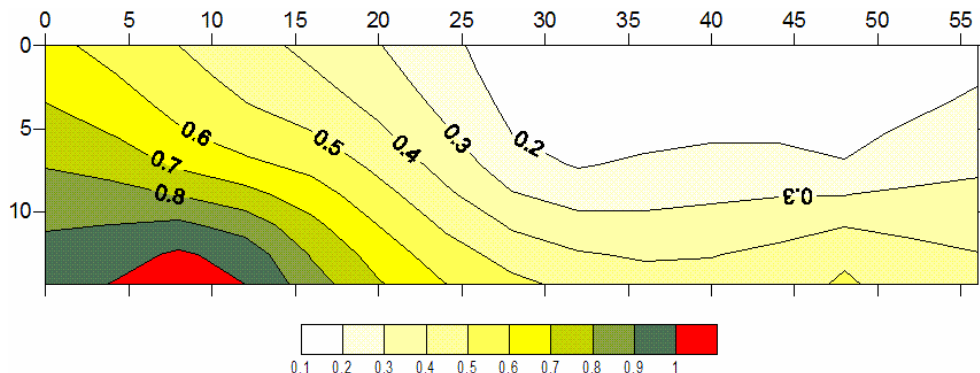


Figura 41. Distribución de thrips por flor. Promedio de todas las fechas

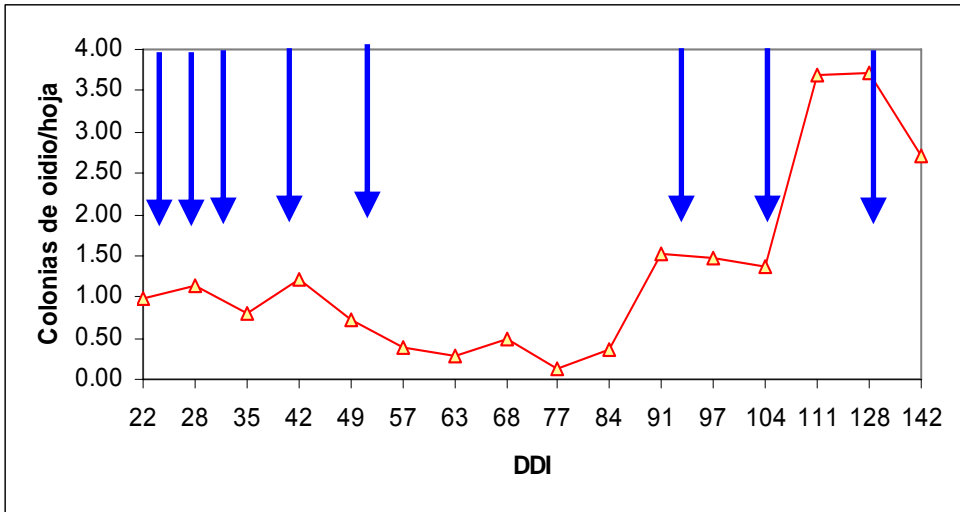
La distribución de la cantidad de thrips, fue afectada por la distribución de producto, pero también por la dinámica de reinfestación de la plaga desde el invernadero gemelo adosado con cultivo de pimiento. En el cuadro 60 se observa la mayor presencia del insecto en la fila x: 12,6, la más cercana al otro invernadero.

Cuadro 60. Thrips por flor. Promedio de todas las evaluaciones.

	Y		
	0 a 20 m	20 a 40 m	40 a 56 m
X: 1,8 m	0,49 b	0,12 c	0,13 c
X: 7,2 m	0,61 b	0,17 c	0,20 c
X: 12,6 m	1,07 a	0,44 b	0,49 b

Nota: Medias identificadas con igual letra no difieren significativamente entre sí con  $p < 0,05$  según la prueba de comparación de razones de verosimilitud ( $\chi^2$ ).

### 10.3.5.2. Eficacia de control de oidio



\*Nota: las flechas ( ) indican momentos de aplicación.

Figura 42. Evolución del N°. de colonias de oidio por hoja

En la figura 42 se observa un período de baja incidencia de oidio coincidente con condiciones de alta temperatura y baja humedad registradas en el período estival (enero – febrero). A partir del día 84 (26 de febrero), se observa un incremento de la incidencia de la enfermedad. Los tratamientos de los días 92, 104 y 126 (últimos tratamientos) parecen contener la enfermedad pero sin lograr los bajos niveles obtenidos en el verano).

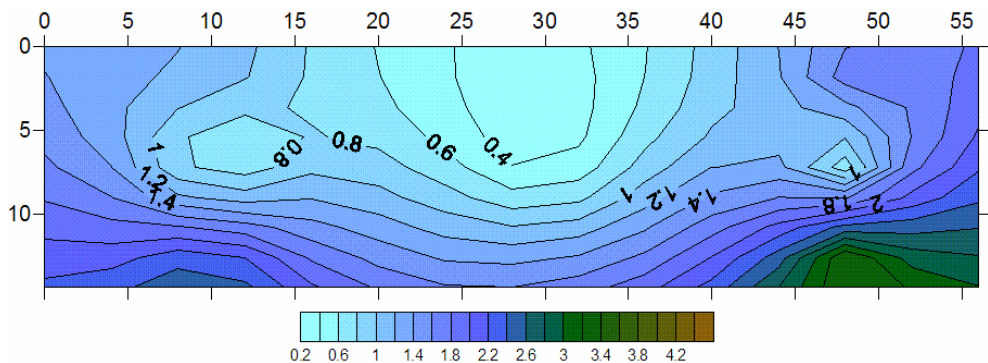


Figura 43. Distribución de colonias de oidio por hoja dentro del invernadero

Como ya se estableció, las evaluaciones de distribución del producto en el follaje no permitieron detectar depósitos en el envés de las hojas. El hongo crece dentro de la hoja y luego emite sus formas de reproducción por el envés a través de los estomas (Café et al., 2001). Esto podría determinar una mayor dificultad para controlar este tipo de enfermedad con nebulizadores y la poca expectativa que cabría esperar del uso de fungicidas de contacto.

La mayor incidencia de oídio se observó en zonas cercanas a la unión entre los invernaderos, donde coincidían bajas velocidades de aire, bajos depósitos, menor ventilación y mayor humedad. Estos resultados coinciden con los de Bernal (2004). Este, quien reconoce al oídio como principal enfermedad de los cultivos de pimiento en invernadero en el Uruguay, destaca la importancia del manejo de la ventilación y humedad en el control del patógeno.

Cuadro 61. Oídio, promedio de colonias por hoja

X	Y		
	0 a 20 m	20 a 40 m	40 a 56 m
1,8 m	1,26 b	0,25 d	1,69 a
7,2 m	0,29 d	0,23 d	0,68 c
12,6 m	2,59 a	1,41 b	3,40 a

Nota: Medias identificadas con igual letra no difieren significativamente entre sí con  $p < 0,05$  según la prueba de comparación de razones de verosimilitud ( $\chi^2$ ).

La distribución de oídio por sectores de muestreo (cuadro 61), muestra diferencias estadísticas en la severidad de la enfermedad. Las zonas de menor ataque coinciden con zonas mejor ventiladas y además de mayor cantidad de depósito recuperado.

El grado de control logrado permitió (a pesar de ser insatisfactorio en algunas áreas), mantener al cultivo en plena producción durante todo su ciclo sin necesidad de intervenciones manuales para la aplicación de fungicidas.

## 11. DISCUSION GENERAL

Las tecnologías usuales para la realización de tratamientos fitosanitarios en Uruguay son del tipo manual. La estructura de los invernaderos es de madera con numerosas columnas en toda su superficie, el suelo es de tierra y el espacio interfilar es muy reducido. Las mallas anti-insectos no se utilizan por lo que no se requieren calles internas para la circulación. Estas características, hacen que hasta el momento no se haya evaluado como posible o necesario el empleo de vehículos para la realización de los tratamientos.

La aplicación hidráulica convencional es la principal técnica utilizada. El excesivo volumen utilizado en muchos casos, provoca chorreado con escurrimiento hacia el suelo, además de no asegurar los mejores resultados biológicos. Se verificaron también variaciones importantes en la tasa de aplicación, y poco ajuste de la misma en función del desarrollo del cultivo.

La evaluación de la configuración de las barras verticales desplazadas manualmente en tomate, permitió visualizar limitantes en cuanto el tamaño de gota a utilizar. En ausencia de la asistencia de aire, las gotas con DMV del orden de las 100  $\mu\text{m}$  pierden su energía cinética rápidamente disminuyendo su capacidad de penetración (Holterman, 2003). Las gotas muy finas y bajo volumen (100  $\mu\text{m}$ ,  $\approx 470 \text{ l}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) produjeron 41 % cobertura en el haz, los tratamientos con el doble de volumen obtuvieron un máximo 53 % de cobertura (cuadro 8). De cualquier manera, la diferencia fue mucho menor que la variación de tasa de aplicación o tamaño de gotas evaluado.

Cuando se realizaron tratamientos en un cultivo de tomate plantado en doble hilera, evaluando la cobertura con boquillas horizontales o inclinadas, se obtuvo una cobertura notoriamente inferior que en el caso de hilera simple. En hilera simple, el tratamiento de bajo volumen y gotas muy finas (BF) obtuvo 41% de cobertura mientras que con barras en hilera doble igual tasa de aplicación y tamaño de gota solo el 21 %, lo que nos indica la dificultad que impone el sistema de plantación o conducción ( cuadro 11).

En cuanto a la penetración, en los ensayos realizados sobre tomate y pimiento en doble hilera o doble plano de conducción, siempre hubo menor deposición en la parte interna del follaje. Esto se verificó, sobre todo, en la parte media o baja del cultivo donde el tamaño y densidad de las hojas es mayor (cuadros 11, 14, 20, 22, 42, 43). Como excepción, en tomate la barra vertical con boquillas inclinadas 45° y los tratamientos ESS+ y ESS- obtuvieron similar deposición en el exterior y en el interior (cuadros 13 y 18). En pimiento, la deposición interior siempre fue menor a la exterior con los cinco métodos de pulverización neumática ensayados (cuadros 42 y 43).

Ensayando el efecto biológico de diferentes tratamientos en el cultivo de tomate, uno de los tratamientos fue pulverización hidráulica de volumen medio (PM) con una boquilla de cono hueco con 100  $\mu\text{m}$  y 350  $\text{l}\cdot\text{ha}^{-1}$  (cuadro 24). Este tratamiento fue muy similar al de bajo volumen y gota muy fina utilizado en la evaluación de barras verticales. El control de mosca blanca fue significativamente mayor con este tratamiento que con el convencional.

Esta aparente contradicción indica que puede haber un rango bastante amplio en tasas de aplicación que producen también un rango bastante amplio en densidad de impactos o tasa de cobertura, dentro de los cuales pueden existir factores más determinantes de la eficacia de los tratamientos, como la concentración del pesticida y el tamaño de las gota entre otros. Los trabajos de Omar y Matthews (1991) y Cross et al. (2000) entre otros resultan muy relevantes en estos aspectos.

El uso de técnicas con asistencia de aire permite utilizar gotas pequeñas muy concentradas y volúmenes reducidos de aplicación sin que esto tenga como consecuencia la pérdida de la calidad de distribución o incluso mejorar la misma. En los cuadros 17, 18, se puede observar que si bien el tratamiento convencional (PC) obtuvo 45 % de cobertura en el haz, la pulverización neumática con asistencia de aire con una tasa de aplicación cinco veces menor obtuvo alrededor de un 18% de cobertura. Cuando se



analiza lo que sucede en el envés las diferencias se acortan aún más. (cuadro 19).

Analizando la relación de cobertura entre ambos lados de las hojas, también se ven claros indicios de la mayor homogeneidad de los tratamientos con asistencia de aire (cuadro 21). En cuanto al efecto de la altura de muestreo, la relación  $\text{haz.enves}^{-1}$  fue menor en la parte superior tanto en tomate como en pimiento, producto de la distribución vertical del área foliar y de la proyección ascendente de los chorros de pulverización (cuadros 21 y 44).

Las evaluaciones del efecto de la carga electrostática sobre la distribución obtenida en invernaderos utilizando el pulverizador ESS no resultaron plenamente concluyentes. Cuando se evaluó su efecto en un cultivo de pimiento conducido en dos planos verticales, el aumento de la cobertura fue significativo (cuadros 42 y 43). En el cultivo de tomate plantado en doble fila, esta no tuvo efecto sobre la cobertura, (cuadros 17 y 19).

Ensayando tratamientos en el cultivo de tomate durante todo un ciclo (cuadros 22 al 29), se pudo observar un mejor control con los tratamientos con asistencia de aire. Con 100 a 175  $\text{l.ha}^{-1}$  estos tratamientos lograron control efectivo de mosca blanca y botrytis. Dentro de los tratamientos con asistencia de aire, se destacó el ESS+, (pulverización neumática con carga electrostática a 100  $\text{l.ha}^{-1}$  promedio). Sin embargo, si se consideraran umbrales de daño, rendimiento y calidad comercial u otros aspectos económicos, posiblemente todos los tratamientos con asistencia de aire pudieran ser considerados igualmente buenos.

En el ciclo del cultivo que estamos discutiendo se realizaron 22 aplicaciones. Las mismas fueron indicadas por el técnico asesor en función del estado general del cultivo en el establecimiento. Si en cada tratamiento se hubiera tomado la decisión de aplicar en función del monitoreo previo tal como recomiendan los manuales de producción integrada, hubieran podido

registrarse reducciones significativas en el número de aplicaciones realizadas.

En cuanto a la utilización del nebulizador frío evaluado en el cultivo de pimiento, la gran eficacia obtenida en el control de thrips fue muy alentadora. La pérdida de cultivos por efecto del virus de la “peste negra” es un problema grave a nivel nacional. Las ventajas fueron además la aplicación automatizada nocturna y la eliminación de la contaminación directa de los operarios.

La irregularidad en la distribución espacial observada, es coincidente con los resultados de Wygoda y Rietz (1996) y Usera et al. (2002), por lo que su utilización implica realizar un análisis cuidadoso de la adaptación de estos equipos a las dimensiones de los invernaderos, la utilización de ventiladores auxiliares o la pulverización desde varias posiciones del equipo para mejorar la distribución.

La opción de colocar el nebulizador en el centro del invernadero acortando la distancia de proyección del pulverizado (Wygoda y Rietz, 1996) es una de las formas más sencillas y económicas de mejorar la distribución. Debería automatizarse el giro del equipo para que nadie tuviera que ingresar al invernadero durante la aplicación.

La no cobertura del envés obtenida con el nebulizador podría compensarse por la muy buena penetración dentro del follaje, pero en aquellas enfermedades como el oídio del pimiento, que se desarrollan dentro del mesófilo y emiten su signo en el envés, el control podría ser deficiente como se observó parcialmente en el ensayo realizado.

Otra plaga de gran incidencia como la mosca blanca cuyas ninfas parasitan en el envés podría ser de dificultoso control. En este caso, cabe de cualquier forma la consideración de que el nebulizador podría ser muy efectivo en el control de adultos debido a su movilidad y vuelo nocturno.

Otras desventajas del uso de nebulizadores serían la necesidad de contar con energía eléctrica en todos los invernaderos y la disponibilidad de un número de equipos adecuados. No es lógico que se deba estar ingresando en invernaderos tratados por la noche para cambiar los equipos de lugar.

En cuanto a la factibilidad de implementación de alternativas evaluadas, la disminución de la tasa de aplicación o la construcción de barras verticales se puede considerar prácticamente sin costo. La difusión del uso de pulverizadores neumáticos de mochila es notoriamente más viable por el costo relativamente bajo de estos equipos, frente a otros equipos importados. Actualmente la relación de costos entre un nebulizador y una mochila neumática es de aproximadamente cinco a uno.

En la mayoría de los ensayos realizados, las técnicas de aplicación tuvieron un efecto significativo, ya sea en los parámetros físicos como biológicos de los tratamientos. Su optimización junto con los principios de la producción integrada y otros medios de control son una herramienta que aportará en la disminución del uso de pesticidas, la seguridad alimentaria y la salud de los operadores.

En base a los experimentos realizados, observaciones tendencias y evidencias, y el aporte de los prestigiosos autores citados, me permito plantear algunas líneas de investigación que serían de utilidad para el Uruguay:

- La comparación entre el volumen de aplicación utilizado en el cultivo de tomate y el ajuste de la tasa de aplicación por el método del PRV propuesto por Sánchez-Hermosilla et al. (2005) produjo resultados coincidentes. Este método debería seguir validándose en un amplio rango de tasas de aplicación y tamaños de gotas tanto en aplicaciones hidráulicas como neumáticas.

- La evaluación de barras verticales en ensayos de eficacia biológica de los tratamientos sería de interés para evaluar como las tendencias observadas en la distribución física afectan la eficacia biológica de los tratamientos.
- La optimización de las aplicaciones mediante nebulizadores fríos en invernaderos, evaluando sistemas con rotación automática, eficacia de control de mosca blanca del pimiento, del tomate y control de enfermedades.

## 12. CONCLUSIONES

- *Técnicas de aplicación utilizadas en invernaderos del litoral noroeste del Uruguay.*

La pulverización hidráulica de alto volumen es el método de aplicación mayoritariamente utilizado en invernaderos del litoral noroeste de Uruguay. El 97 % de los encuestados utilizan esta técnica como método principal de aplicación.

En esa región, el volumen de aplicación a pleno desarrollo de los cultivos de tomate es de aproximadamente 1300 l.ha<sup>-1</sup>. Se detectaron importantes variaciones de volumen entre productores.

- *Cobertura del follaje obtenida con diferentes tecnologías de aplicación en los cultivos de tomate y pimiento en invernaderos.*

La utilización de un tamaño de gotas medio con un volumen de aplicación de 500 l.ha<sup>-1</sup> produjo una cobertura similar a la aplicación convencional de alto volumen.

La inclinación de las boquillas 45° hacia arriba produjo mejoras en la cobertura del follaje en el cultivo de tomate.

En tomate, la aplicación neumática de bajo volumen con el pulverizador ESS con y sin carga electrostática produjo una mayor homogeneidad de cobertura entre la parte exterior e interior del follaje que la aplicación hidráulica convencional de alto volumen.

En pimiento, la carga electrostática tuvo un efecto significativo en el aumento de la cobertura en el haz y en el envés, así como el aumento de la tasa de aplicación cuando se utilizó el equipo ESS.

La distribución de producto lograda en un invernadero de pimiento mediante el uso de un nebulizador presentó alta variabilidad disminuyendo rápidamente en función de la distancia al nebulizador.

La densidad de impactos sobre el follaje, fue homogénea en cada punto de muestreo, obteniendo resultados similares en la parte superior y exterior más expuestas como en la interior de difícil acceso.

Los impactos sobre el follaje se observaron casi exclusivamente en el haz de las hojas.

- *Efecto de diferentes tecnologías de pulverización en el control de plagas y enfermedades de cultivos de tomate y pimiento en invernadero.*

Se observaron diferencias en el control de mosca blanca (*Trialeurodes Vaporariorum* W), polilla del tomate (*Tuta absoluta* Meyr) y botrytis (*Botrytis cinerea* Pers) en función de la técnica de aplicación utilizada.

Los tratamientos mediante pulverización neumática, con o sin carga electrostática, y bajo volumen de aplicación obtuvieron mejor control de plagas y enfermedades que la aplicación hidráulica convencional de alto volumen en el cultivo de tomate.

Las aplicaciones con el Pulverizador ESS con y sin carga electrostática fueron siempre las más eficaces. En el control de mosca blanca, la mayor eficacia de control se logró con el tratamiento de carga electrostática.

A pesar de la variabilidad de depósitos observada con el nebulizador, el control de thrips fue alto en toda el área del invernadero. El control de oídio del pimiento fue aceptable, aunque en algunos sectores alejados del nebulizador, con problemas de humedad y ventilación el control fue insuficiente.

- *Ajustes y alternativas en la tecnología de aplicación de los tratamientos en invernaderos.*

En función de los resultados obtenidos, y como recomendación de alcance general, las aplicaciones hidráulicas en invernaderos deberían realizarse a tasas de aplicación del orden de los 500 l.ha<sup>-1</sup> y gotas de tamaño medio en cultivos de tomate o pimiento a pleno desarrollo.

El uso de barras verticales con similar volumen y tamaño de gota y boquillas orientadas 45 ° hacia arriba es otra alternativa igualmente válida.

El uso de pulverizadores neumáticos de mochila debe recomendarse como método habitual de aplicación.

La alternativa de mayor interés es la pulverización neumática con gotas muy finas y carga electrostática. Una tasa de aplicación de 100 l.ha<sup>-1</sup> resulta adecuada para lograr buena distribución y buena eficacia biológica en el control de plagas y enfermedades en invernaderos.

### 13. BIBLIOGRAFIA CITADA

ABDELBAĞI, H.; ADAMS, A.J. 1987. Influence of droplet size, air assistance and electrostatic charge upon the distribution of ultra-low-volume sprays on tomatoes. *Crop Protection* 6 (4),226-233.

ADAMS, A.J.; PALMER, A. 1989. Air assisted electrostatic application of permethrin to glasshouse tomatoes: droplet distribution and its effect upon whiteflies (*Trialeurodes vaporariorum*) in the presence of *Encarsia Formosa*. *Crop Protection* 8(1):40-48.

ALM, S. R. ; REICHARD, D. L. ; WILLIAMS, R. N.; HALL, F. R. 1987. Effects of Spray Size and Distribution of drops containing Bifenthrin on *Tetranychus urticae*. *Journal of Economic Entomology*. 80(2): 517-520.

ALM, S. R. ; REICHARD, D. L. ; WILLIAMS, R. N.; HALL, F. R. 1989. Mortality of First-Instar Grape Berry Moths (Lepidoptera: Tortricidae) Due to Dosage and Size of Spray Drops Containing Fenprothrin. *Journal of Economic Entomology*. 82(4): 1180-1184.

AUSTERWEIL, M; GAMLIEL, A; STEINER, B; RIVEN, Y; ZILBERG, V. 2000. Approaches to evaluating the performance of air-assisted pesticide application equipment in greenhouses. *Aspects of Applied Biology* 57: 391-398.

BARBER, J.A.S; PARKIN, C.S. 2003. Fluorescent tracer technique for measuring the quantity of pesticide deposited to soil following spray applications. *Crop Protection* 22 (1): 15-21.

BENTANCOURT, C.; SCATONI, I. 1999. Guía de insectos y ácaros de importancia agrícola y forestal en el Uruguay. Montevideo. Facultad de Agronomía. Hemisferio Sur. 205 p.



BERNAL, R. 2004. Avances en el manejo y control de enfermedades de pimiento y tomate en invernáculo en Salto y Bella Unión. Boletín de Difusión 368. INIA Salto Grande. 44p.

BERNAL, R. 2006. Oidio del pimiento en la zona norte de Uruguay. Hoja de divulgación N°94. INIA Salto Grande. 4 p

BERNAL, R.; BUENAHORA J. 2007. Sanidad en Cultivos Protegidos en la Zona Norte de Uruguay Serie Actividades de Difusión N° 517. INIA Salto Grande. 29 p

CAFÉ, A.; COELHO, M.; SOUZA, V. 2001. Oídios de Hortalizas. En: Standnik y Rivera. eds. Oídios. Jaguariuma SP. Brasil Embrapa Meio Ambiente 285-294.

CAI, S.S.; STARK, J.D. 1997. Evaluation of five fluorescent dyes and triethyl phosphate as atmospheric tracers of agricultural sprays. Journal of Environmental Science and Health. Part-B, Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes. 1997 32(6): 969-983.

COATES, W.; PALUMBO, J. 1997. Deposition, Off-Target movement, and efficacy of Capture™ and Thiodan™ applied to cantaloupes using five sprayers. Applied Engineering in Agriculture 13(2): 181-188.

COOKE, B.K.; HISLOP, E.C.; HERRINGTON, P.J.; WESTERN, N.M.; HUMPHERSON-JONES, F. 1990. Air Assisted spraying of arable crops, in relation to deposition, drift and pesticide performance. Crop Protection 9(8): 303-311.

CROSS, J. V.; BERRIE, A. M.; MURRAY, R. A. 2000. Effect of drop size and spray volume on deposits and efficacy of strawberry spraying. Pesticide application. Aspects of Applied Biology. 57: 313-320.

DERKSEN R. C.; VITANZA S.; WELTY C.; MILLER S.; BENNETT M.; ZHU H. 2007. Field evaluation of application variables and plant density for bell pepper pest management. *Transactions of the ASAE*. 50(6): 1945-1953.

DERKSEN, R.C.; SANDERSON, J.P. 1996. Volume speed and distribution technique effects on poinsettia foliar deposits. *Transactions of the ASAE* 39(1): 5-9.

EBERT, T. A.; DERKSEN, R. C.; DOWNER, R. A.; KRAUSE, C. R. 2004. Comparing Greenhouse sprayers: the dose transfer process. *Pest Management Science*. 60:(5). 507-513

EPPO, 1989. EPPO data sheets on quarantine organisms. *EPPO Bulletin* 19: 725 – 731

FROST, A. R.; LAW, S. E. 1981. Extended Flow Characteristics of the Embedded-Electrode spray-charging nozzles. *Journal of agricultural Engineering Research*. 26(1). 79-86.

GAN-MOR, S.; GRINSTEIN, A .; BERES, H.; RIVEN, Y.; ZUR, I. 1996. Improved uniformity of spray deposition in a dense plant canopy: methods and equipment. *Phytoparasitica*. 24(1): 57-67

GAN-MOR, S.; RIVEN, Y.; RONEN, B.; GAMLIEL, A. 2004. Air velocity an energy reduction for air-assisted spraying in a dense canopy. *Aspects of Applied Biology* 71(1): 107-112

GARZÓN E.; LÓPEZ L.; SÁNCHEZ-HERMOSILLA J. 2000. Eficacia Técnica de la Aplicación de fitosanitarios con cañón atomizador. *Vida Rural* 112.

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

GIL, E., 2003. Tratamientos en viña. Equipos y técnicas de aplicación. Barcelona. Ediciones de la Universidad Politécnica de Cataluña. ISBN: 84-8301-691-5

HOLTERMAN, H.J. 2003. Kinetics and evaporation of water drops in air. Wageningen: IMAG. Report 2003-12/Wageningen UR, Instituut voor Milieu- en Agritechniek; 2003. ISBN 90-5406-234-7

HIMEL, CH. M. 1969. The optimum size for insecticide spray droplets. Journal of Economic Entomology. 62 (4): 919-925.

HERZOG, G.A.: LAMBERT, W.R.: LAW, E.: SEIGLER, W.E.: GILES, D.K. 1983. Evaluation of an electrostatic application system for control of insect pests in cotton. . Journal of Economic Entomology. 76(3): 637-640.

JACQUES, R.; OLIVET, J. J.; CHIARAVALLE W.; BERMÚDEZ A. 2003. Validación de técnicas de aplicación de fitosanitarios en tomate en invernadero zona sur. En: Producción integrada en Uruguay pp165-171. Proyecto PREDEG/GTZ, Montevideo. ISBN-9974-7794-0-5

JAVED, M. A.; MATTHEWS, G. A. 2000. Influence of application techniques and spray deposition patterns for whitefly control. International Pest Control. 2000: 222-225.

KABASHIMA, J.; GILES, D.K.; PARELLA, M.P.1995. Electrostatic sprayers improve pesticide efficacy in greenhouses. California Agriculture. 49(4): 31-35

KIRK, W. 1987. How much pollen can thrips destroy? Ecological Entomology 12(1): 31 – 40.

LAW, S. EDWARD. Electrostatic spray nozzle system. United States Patent.4,004,733 25/01/1977.

LAW, S.E.; LANE, M.D. 1981. Electrostatic deposition of pesticide spray onto foliar targets of varying morphology. Transactions of the ASAE. 24(6): 1441-1448.

LAW, S.E. 1982. Spatial distribution of electrostatically deposited sprays on living plants. Journal of Economic Entomology 75(3): 242-544.

LAW, S.E. 2001. Agricultural electrostatic spray application: a review of significant research and development during the 20<sup>th</sup> century. Journal of Electrostatics 51-52: 25-42.

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

LINDQUIST, RK; POWELL, CC; HALL FR;. 1993. Glasshouse treatment. Application-technology-for-crop-protection. Matthews GA and Hislop EC (eds.): 275-290.

MATTHEWS, G.A. 1989. Electrostatic spraying of pesticides: A review. Crop Protection. 8(1): 3-15

MATTHEWS, G. A. 1996. Pedestrian sprayers: equipment for ultra low and very low volume spraying. Eppo Bulletin 26:103-110

NUEZ, F.; GIL ORTEGA, L.; COSTA, J. 1995. El cultivo de pimientos, chiles y ajíes. Ediciones Mundi Prensa. ISBN: 84-7114-609-6.

NUYTTENS, D.; WINDEY, S.; SONCK, B. 2004. Optimisation of a vertical spray boom for greenhouse spray applications. Biosystems Engineering 89 (4): 417-423.

OMAR, D.; MATTHEWS, G.A. 1991. Influence of formulation and spray droplet size upon the persistence of permethrin deposits on brussels sprouts leaves. Crop Protection 10 (1): 41-44.

OMAR, D.; MATTHEWS, G.A.; FORD, M.G.; SALT, D.W. 1991. The influence of spray droplets characteristics on the efficacy of permethrin against the Diamond Moth *Plutella xylostella*: The effect of drop size and concentration on the potency of ULV and EC based residual deposits. *Pesticide Science* 32 (4): 439-450.

ORTÍ, E.; MOLINA, J. M.; TARAZONA, I.; VAL, L. 2005. Metallic tracer (Fe, Mn & Zn) recovering procedures assessment from sprayed leaves in quality spraying tests for citrus orchards. VII Workshop on Spray Application Techniques In Fruit Growing. Barcelona 2005.

PALLADINI, L. A. 2000. Metodología para avaliação de deposição em pulverizações. Tesis de Doctorado Universidad estadual de San Pablo. Botucatu Brasil. 111 p.

PALUMBO, J.; COATES W. 1996. Air-assisted electrostatic application of pyrethroid and endosulfan mixtures for sweet potato whitefly (Homoptera Aleyrodidae), control and spray deposition in cauliflower. *Journal of Economic Entomology*. 89(4): 970-980.

PAULLIER, J.; MAESO, D. 2005. Manejo Integrado de Plagas y Evaluación de variedades en Tomate de Mesa. Actividades de Difusión N° 437. INIA Las Brujas. 79p.

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

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

ROCAMORA, M.C.; VAL, L.; PEREZ, M. 2002. Modelling the performance of air-assisted spraying on artichoke. *Biosystems Engineering* 81(4): 385-393.

RODRÍGUEZ, M. D.; PAULLIER, J.; BUENAHORA, J.; MAESO, D. 2003. Mosca Blanca: Importante plaga de los cultivos hortícolas en Uruguay. INIA-AECI. Uruguay. 19p

SAITO, T. 2005. Preliminary experiments to control the silverleaf whitefly with electrostatic spraying of a microinsecticide. Japanese Journal of Applied Entomology and Zoology. 40(2): 289-292

SÁNCHEZ-HERMOSILLA, J.; GARZÓN, E.; BARRANCO, P.; CABELLO, T. 2001. Análisis de la distribución de productos fitosanitarios con diferentes técnicas de pulverización en los invernaderos del sudeste español. I Congreso Nacional de Agroingeniería 2001, Valencia. Consultado 05/2005. Disponible en: <http://www.ual.es/GruposInv/AGR-199/WebTPAZS/difusion.htm>

SÁNCHEZ-HERMOSILLA, J.; MEDINA, R.; AGUILAR, M.A.; CARVAJAL, F.; GAZQUEZ, J.C.; 2003. Mejoras en la aplicación de fitosanitarios en cultivos de invernadero. II Congreso Nacional de Agroingeniería 2003, Córdoba. Consultado 05/2005. Disponible en: <http://www.ual.es/GruposInv/AGR-199/WebTPAZS/difusion.htm>

SÁNCHEZ-HERMOSILLA, J.; MEDINA, R.; SÁNCHEZ, A. 2005. Adjustment of pesticide application rate for greenhouse grown peppers. VIII Workshop on Spray Application Techniques In Fruit Growing. Barcelona.

SÁNCHEZ-HERMOSILLA, J.; SÁNCHEZ-GIMENO, A.; RODRÍGUEZ, F.; 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. Septiembre 2007, Albacete España.

SOPP, P. I.; GILLESPIE, A. T.; PALMER, A. 1989. Applications of *Verticilum lecanii* for the control of *Aphis gossypii* by a low-volume electrostatic rotary atomiser and a high-volume hydraulic sprayer. *Entomophaga*, 34(3): 417-428.

SUTTON, T. B.; UNRATH, C. R. 1984. Evaluation of the tree Row-Volume Concept with Adjustments in relation to Spray Deposits in Apple Orchards. *Plant Disease*. 68(6): 480-484.

SUTTON, D.J.; KABALA, Z.J. 2001. Limitations and potential of commercially available Rhodamine WT as a groundwater tracer. *Water Resources Research*. 37(6): 1641-1656.

TERRA, A.; FRIONI, I.; MOREY, C. 1999. Presencia de *Frankliniella occidentalis* (Pergande) , 1895 (Thysanoptera: Thripidae) en Uruguay. In Resúmenes del VII Congreso Nacional de Horticultura , Montevideo, Uruguay.

URUGUAY.2000 MINISTERIO DE GANADERÍA AGRICULTURA Y PESCA. DIRECCIÓN GENERAL DE ESTADÍSTICAS AGROPECUARIAS. CENSO AGROPECUARIO. Consultado 7/2006. <http://www.mgap.gub.uy/DIEA>

(\_\_\_\_\_.) 2004. MINISTERIO DE GANADERÍA AGRICULTURA Y PESCA. DIRECCIÓN GENERAL DE ESTADÍSTICAS AGROPECUARIAS. ENCUESTA HORTÍCOLA ZONAS SUR Y NORTE. 33P

USERA, G.; OLIVET J.J. ; JACQUES R.; 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

VAL, L. 1995 Sistemas de tratamientos fitosanitarios en invernadero. Nebulizadores de ultra bajo volumen. Ediciones y Promociones L.A.V. Agrícola Vergel 161: 257-258. ISSN: 0211-2728.

VAN DE ZANDE, J.C.; VAN DE LIJZENDOORN, M.T. VAN DE MEIER, R. 1996. *Spraying* in field vegetables: Deposit and biological efficacy, the effects of volume rates, dose, spray interval and air assistance on disease control. In: The BCPC Conference: Pests and diseases. Volume 3. Proceedings of an international conference. (1996, Brighton, UK): 343-348.

(\_\_\_\_\_). 2000. The effect of air assistance, dose and spray interval on late blight control *Phytophthora infestans* in potatoes. In: The BCPC Conference: Pests and diseases. Volume 3. Proceedings of an international conference. (2000, Brighton, UK): 1087-1092.

VAN OS, E.A.; MICHELSEN, J.M.G.P.; CORVER, F.J.M.; VAN DEN BERG, J.V.; BRUINS, M.A.; PORSKAMP, H.A.J.; 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 hort.* (ISHS) 691: 187-194.

VAN ZUYDAM, R. P.; VAN DE ZANDE, J. C. 1996. Application technology, emission and safety in glasshouse spraying. *Eppo Bulletin* 26: 95-101.

VENEGAS, F. RAETANO, C. G.; VINCHI, R.R.; SCUDELER, F. 2002. Diferentes técnicas de aplicação de produtos fitossanitários na cobertura de pulverização do tomateiro cultivado em ambiente protegido. II Simposio Internacional de Tecnología de Aplicação de Agrotóxicos. Jundiaí São Paulo. Consultado 07/2006. Disponible en: <http://www.iac.br/cma/Sintag>

WYGODA, H. J.; RIETZ S. 1996. Plant protection in glasshouses. *EPPO Bulletin* 26: 87-93.