



35

Monografías

## Gestión integrada de invernaderos en el área mediterránea

Juan Carlos Gázquez Garrido  
José Luis Racero Luque-Romero  
(coordinadores)



**Gestión integrada  
de invernaderos  
en el área mediterránea**



# Gestión integrada de invernaderos en el área mediterránea

## **Coordinadores**

Juan Carlos Gázquez Garrido

José Luis Racero Luque-Romero

## Gestión integrada de invernaderos en el área mediterránea

---

© 2015 del texto y las imágenes que se reproducen (excepto mención expresa): los autores

© 2015 de la edición: Cajamar Caja Rural

**Edita:** Cajamar Caja Rural

*[www.publicacionescajamar.es](http://www.publicacionescajamar.es)*

*[publicaciones@cajamar.com](mailto:publicaciones@cajamar.com)*

**ISBN-13:** (pendiente de asignación)

**Diseño y maquetación:** Beatriz Martínez Belmonte

**Fecha de publicación:** noviembre de 2016

Impreso en España / *Printed in Spain*

---

*Cajamar Caja Rural no se responsabiliza de la información y opiniones contenidas en esta publicación, siendo responsabilidad exclusiva de sus autores.*

*© Todos los derechos reservados. Queda prohibida la reproducción total o parcial de esta publicación, así como la edición de su contenido por medio de cualquier proceso reprográfico o fónico, electrónico o mecánico, especialmente imprenta, fotocopia, microfilm, offset o mimeógrafo, sin la previa autorización escrita de los titulares del Copyright.*

## **Introducción.....17**

*Juan Carlos Gázquez Garrido y José Luis Racero Luque-Romero*

## **Justificación del proyecto.....19**

*Jan Rether y Juan Carlos Gázquez Garrido*

## **Almería, un ejemplo de gestión integrada de plagas en invernaderos mediterráneos .....23**

*Juan Carlos Gázquez Garrido*

1. Introducción .....23
2. Situación actual en arco mediterráneo: Almería, ejemplo del buen hacer..... 24
3. Factores clave del éxito de la gestión integrada de plagas en Almería .....26
4. Situación actual. Exigencias de los supermercados .....28
5. Retos y oportunidades en la protección de cultivos durante la próxima década .....30

## **Estructuras de invernadero .....33**

*Juan Carlos López Hernández*

1. Introducción .....33
2. Principales tipos de invernadero de la cuenca Mediterránea .....34
  - 2.1. Invernaderos locales o artesanales.....34
  - 2.2. Invernaderos industriales de cubierta plástica .....35
  - 2.3. Invernaderos de vidrio .....37
  - 2.4. Conclusiones sobre las estructuras de invernadero.....38
- Referencias bibliográficas .....38

## **Materiales de cubierta para invernadero en el área mediterránea.....41**

*Juan Carlos López Hernández*

1. Introducción .....41
2. Materiales plásticos para cubierta de invernaderos.....42
  - 2.1. Polímeros.....42
  - 2.2. Aditivos .....43
3. Propiedades fotoselectivas de las cubiertas de invernadero.....43
  - 3.1. Estabilización frente a la luz ultravioleta .....43
  - 3.2. Plásticos claros y difusos .....44
  - 3.3. Plásticos térmicos.....45
  - 3.4. Plásticos antigoteo .....46
  - 3.5. Plásticos antitérmicos.....47
  - 3.6. Plásticos antiplagas.....48
- Referencias bibliográficas .....48

**Ventilación y refrigeración de invernaderos.....51**

*Juan Carlos López Hernández, Jerónimo Pérez Parra, Juan I. Montero Camacho,  
Esteban Baeza Romero y M. Asunción Antón Vallejo*

|                                                  |    |
|--------------------------------------------------|----|
| 1. Introducción .....                            | 51 |
| 2. Ventilación natural .....                     | 52 |
| 2.1. Condiciones de viento en calma .....        | 52 |
| 2.2. Ventilación por efecto del viento .....     | 54 |
| 2.2.1. Experimentos de visualización .....       | 54 |
| 2.3. Refrigeración por evaporación de agua ..... | 57 |
| Referencias bibliográficas .....                 | 58 |

**Climatización de invernaderos.....59**

*Juan Carlos López Hernández*

|                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------|----|
| 1. Introducción .....                                         | 59 |
| 2. Necesidades energéticas .....                              | 60 |
| 3. Sistemas de calefacción .....                              | 61 |
| 3.1. Sistemas de calefacción por convección .....             | 61 |
| 3.2. Sistemas de calefacción por conducción: .....            | 63 |
| 3.3. Sistemas de calefacción por convección y radiación ..... | 64 |
| 3.4. Sistema por agua caliente en tubería de hierro .....     | 65 |
| Referencias bibliográficas .....                              | 68 |

**Tecnología de invernaderos y gestión integrada de plagas .....69**

*Juan Carlos Gázquez Garrido, Juan Carlos López Hernández, Corpus Pérez Martínez,  
Esteban Baeza Romero, David E. Meca Abad y Jerónimo Pérez Parra*

|                                                                                       |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. Introducción .....                                                                 | 69 |
| 2. Estructuras de invernadero y materiales plásticos fotoselectivos o antiplagas .... | 70 |
| 3. Mallas antiinsectos .....                                                          | 77 |
| 4. Técnicas de refrigeración y control de plagas .....                                | 84 |
| Referencias bibliográficas .....                                                      | 92 |

**Cultivo en suelo: características, corrección y desinfección .....99**

*Antonio José Céspedes López*

|                                                      |     |
|------------------------------------------------------|-----|
| 1. El suelo.....                                     | 99  |
| 1.1. Fertilidad del suelo.....                       | 99  |
| 1.2. Muestra de suelo .....                          | 100 |
| 1.3. El suelo óptimo.....                            | 101 |
| 1.4. Problemas que pueden presentar los suelos ..... | 103 |

|                                                                                                      |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 1.5. Preparación del suelo.....                                                                      | 104 |
| 1.6. El enarenado.....                                                                               | 105 |
| 1.7. Fundamento del enarenado.....                                                                   | 105 |
| 1.8. Realización del enarenado .....                                                                 | 108 |
| 1.9. Características de la arena a emplear .....                                                     | 113 |
| 1.10. Manejo del enarenado .....                                                                     | 113 |
| 2. Desinfección del suelo .....                                                                      | 116 |
| 2.1. Sistemas sostenibles y respetuosos con el medioambiente .....                                   | 121 |
| 2.1.1. Vapor de agua .....                                                                           | 121 |
| 2.1.2. Solarización.....                                                                             | 121 |
| 2.1.3. Biofumigación o biodesinfección.....                                                          | 124 |
| 2.2. Desinfección química .....                                                                      | 126 |
| 2.2.1. Consideraciones para realizar desinfección química .....                                      | 126 |
| 2.2.2. Consideraciones antes de sembrar o transplantar .....                                         | 127 |
| 3. Fumigantes disponibles .....                                                                      | 128 |
| 3.1. Dazomet (Basamid®).....                                                                         | 128 |
| 3.2. Metam sodio (Laysol®, Lucafum® 516, Vapam® HL, y otras) y Metam potasio (K-Pam®, y otras) ..... | 128 |
| Anexo. Cálculo de la dosis de agua para la solarización .....                                        | 129 |
| Referencias bibliográficas.....                                                                      | 131 |

## Uso del agua de riego en los cultivos en invernadero .....133

*María Dolores Fernández Fernández, Rodney B. Thompson, Santiago Bonachela Castaño, María Luisa Gallardo Pino y María Rosa Granados García*

|                                                                               |     |
|-------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 1. Introducción .....                                                         | 133 |
| 2. Origen del agua .....                                                      | 133 |
| 3. Sistemas de riego y almacenamiento de agua.....                            | 134 |
| 4. Aportes de agua de riego.....                                              | 135 |
| 4.1. Indicadores del uso del agua de riego.....                               | 136 |
| 5. Programación del riego en invernadero.....                                 | 137 |
| 5.1. Programación del riego mediante sensores.....                            | 138 |
| 5.1.1. Programación del riego con sensores de humedad del suelo .....         | 138 |
| 5.1.2. Programación del riego con sensores de planta .....                    | 142 |
| 5.1.3. Consideraciones generales sobre sensores para el manejo de riego ..... | 142 |
| 5.2. Programación del riego con datos climáticos .....                        | 143 |
| 5.2.1. Modelos para estimar las necesidades de agua de los cultivos .....     | 143 |
| Referencias bibliográficas.....                                               | 146 |

## **Fertirrigación.....151**

*Juan José Magán Cañadas, María Dolores Fernández Fernández, Rodney B. Thompson y María Rosa Granados García*

|                                                                                                           |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 1. Concepto de fertirrigación .....                                                                       | 151 |
| 2. Criterios de fertirrigación en suelo .....                                                             | 152 |
| 3. Criterio de aporte de fertilizantes en función de las necesidades teóricas del cultivo .....           | 153 |
| 4. Criterio de aporte de fertilizantes en base a una disolución fisiológica equilibrada iónicamente ..... | 155 |
| 5. El problema de los nitratos y su relación con la actividad agrícola .....                              | 160 |
| 6. Legislación sobre nitratos en la agricultura .....                                                     | 161 |
| 7. Prácticas agrícolas que contribuyen a la lixiviación de nitratos .....                                 | 161 |
| 8. Prácticas agrícolas para un manejo óptimo de la fertilización nitrogenada ....                         | 162 |
| Referencias bibliográficas .....                                                                          | 164 |

## **Manejo de los cultivos sin suelo.....167**

*Juan José Magán Cañadas*

|                                                    |     |
|----------------------------------------------------|-----|
| 1. Preparación e inicio del cultivo .....          | 167 |
| 2. Manejo del riego al principio del cultivo ..... | 170 |
| 3. Manejo posterior del riego .....                | 172 |
| 4. Automatización del riego .....                  | 179 |
| 5. Diseño de la solución nutritiva .....           | 180 |
| 6. Seguimiento del cultivo .....                   | 186 |
| Referencias bibliográficas .....                   | 188 |

## **¿Residuos? Productos con otras calidades y distintas aplicaciones...191**

*Alfonso Sevilla Portillo, Miguel Ángel Domene Ruiz, Mercedes Uceda de la Maza, Dolores Buendía Guerrero y José Luis Racero Luque-Romero*

|                                                                                        |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 1. Resumen .....                                                                       | 191 |
| 2. Desglose de los productos que genera un invernadero .....                           | 191 |
| 3. Un marco teórico para reutilizar los subproductos .....                             | 194 |
| 3.1. Plásticos .....                                                                   | 194 |
| 3.1.1. Rafia .....                                                                     | 194 |
| 3.1.2. Macetas .....                                                                   | 195 |
| 3.1.3. Plástico de cubierta .....                                                      | 195 |
| 3.2. Metales .....                                                                     | 196 |
| 3.3. Incineración .....                                                                | 196 |
| 4. El caso práctico de la fracción orgánica: producción de compost .....               | 197 |
| 4.1. Introducción al proceso de compostaje .....                                       | 197 |
| 4.2. Tipo de residuo de un cultivo, frecuencias, cantidades, calidades o problemas ... | 198 |

|                                                                  |     |
|------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.3. Soluciones para realizar el compostaje .....                | 199 |
| 4.4. Ejemplos .....                                              | 202 |
| 4.5. Formas de medir la calidad y lo apropiado del producto..... | 205 |
| Referencias bibliográficas.....                                  | 207 |

## **Optimización de la aplicación de fitosanitarios en invernadero .....211**

*Julián Sánchez-Hermosilla, Víctor J. Rincón, Francisco Pérez y Milagros Fernández*

|                                               |     |
|-----------------------------------------------|-----|
| 1. Introducción .....                         | 211 |
| 2. Influencia del equipo de aplicación.....   | 212 |
| 3. Influencia del tipo de boquilla .....      | 216 |
| 4. Influencia del volumen de aplicación ..... | 217 |
| Agradecimientos.....                          | 219 |
| Referencias bibliográficas.....               | 219 |

## **El manejo de la resistencia a fitosanitarios .....221**

*Pablo Bielza Lino*

|                                                 |     |
|-------------------------------------------------|-----|
| 1. Introducción .....                           | 221 |
| 2. Concepto de resistencia a plaguicidas.....   | 221 |
| 3. Desarrollo de poblaciones resistentes .....  | 223 |
| 4. Mecanismos de resistencia .....              | 226 |
| 5. Un problema creciente .....                  | 229 |
| 6. Estrategias de manejo de la resistencia..... | 230 |

## **Sublimadores: uso para el control del oídio .....233**

*Corpus Pérez Martínez*

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| 1. Definición .....             | 233 |
| Referencias bibliográficas..... | 245 |

## **Control biológico en invernaderos.....247**

*Mónica González Fernández*

|                                                                                                                   |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 1. Introducción .....                                                                                             | 247 |
| 2. Control biológico de plagas .....                                                                              | 249 |
| 3. Agentes de control biológico.....                                                                              | 251 |
| 4. Principales plagas presentes en los cultivos bajo plástico en el sureste español y sus enemigos naturales..... | 252 |
| 4.1. Orden Hemiptera.....                                                                                         | 253 |
| 4.1.1. Suborden Homoptera .....                                                                                   | 253 |
| 4.1.1.1. Familia Aleyrodidae.....                                                                                 | 253 |
| 4.1.1.2. Familia Aphididae.....                                                                                   | 254 |

|                                                                                                                                             |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.2. Orden Thysanoptera .....                                                                                                               | 255 |
| 4.2.1. Familia Thripidae .....                                                                                                              | 255 |
| 4.3. Orden Diptera .....                                                                                                                    | 256 |
| 4.3.1. Familia Agromyzidae .....                                                                                                            | 256 |
| 4.4. Orden Lepidoptera .....                                                                                                                | 256 |
| 4.4.1. Familia Noctuidae .....                                                                                                              | 256 |
| 4.4.2. Familia Gelechiidae .....                                                                                                            | 257 |
| 4.5. Clase arachnida .....                                                                                                                  | 258 |
| 4.5.1. Subclase acari(na) .....                                                                                                             | 258 |
| 4.5.1.1. Orden Acariformes .....                                                                                                            | 258 |
| 5. Manejo del control biológico en invernadero .....                                                                                        | 259 |
| 6. Desarrollo de una estrategia de control biológico por conservación<br>en el marco de la horticultura intensiva del sureste español ..... | 260 |
| Referencia bibliográficas .....                                                                                                             | 262 |

## **Buenas prácticas agrícolas en invernadero: claves del éxito de la gestión integrada de plagas .....**

*Juan Carlos Gázquez Garrido*

|                                                                                  |     |
|----------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 1. Introducción .....                                                            | 265 |
| 2. Prevención-medidas culturales .....                                           | 265 |
| 3. Seguimiento del cultivo .....                                                 | 268 |
| 4. Buen manejo del cultivo y de los enemigos naturales .....                     | 272 |
| 5. Recomendaciones a seguir para realizar un programa de control biológico ..... | 273 |
| 5.1. Antes de la plantación .....                                                | 273 |
| 5.2. Durante el cultivo .....                                                    | 275 |
| 5.3. Desde la plantación al inicio de las sueltas .....                          | 276 |
| 5.4. Control químico racional y compatible con el control biológico .....        | 277 |

## **Reconocimiento de enfermedades de cultivos hortícolas en invernaderos .....**

*María Antonia Elorrieta Jove*

|                                                                                       |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 1. Introducción .....                                                                 | 281 |
| 2. Bacterias relevantes en los cultivos hortícolas de Almería .....                   | 282 |
| 2.1. Bacterias de actuación aérea .....                                               | 282 |
| 2.1.1. Especies patógenas vegetales pertenecientes al género <i>Pseudomonas</i> ..... | 282 |
| 2.1.1.1. <i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>tomato</i> .....                          | 283 |
| 2.1.1.2. <i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>lachrymans</i> , .....                    | 284 |
| 2.1.1.3. <i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>syringae</i> .....                        | 285 |

|                                                                                                                                                                                           |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 2.1.2. Especies patógenas vegetales pertenecientes al género <i>Xanthomonas</i> ....                                                                                                      | 286 |
| 2.1.2.1. <i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>vesicatoria</i> .....                                                                                                                       | 286 |
| 2.1.2.2. <i>X. c. pv. cucurbitae</i> .....                                                                                                                                                | 287 |
| 2.1.2.3. <i>Acidovorax avenae</i> subsp. <i>citrulli</i> .....                                                                                                                            | 287 |
| 2.2. Bacterias de actuación medular.....                                                                                                                                                  | 288 |
| 2.2.1. <i>Pectobacterium carotovorum</i> subsp. <i>carotovorum</i> .....                                                                                                                  | 288 |
| 2.2.2. <i>Pseudomonas corrugata</i> .....                                                                                                                                                 | 290 |
| 2.3. Bacterias de actuación vascular .....                                                                                                                                                | 291 |
| 2.3.1. Especies patógenas vegetales pertenecientes al género <i>Clavibacter</i> .....                                                                                                     | 291 |
| 2.3.2. <i>Ralstonia solanacearum</i> .....                                                                                                                                                | 292 |
| 2.3.3. Especies patógenas vegetales pertenecientes al género <i>Curtobacterium</i> .....                                                                                                  | 293 |
| 3. Hongos relevantes en los semilleros hortícolas .....                                                                                                                                   | 294 |
| 3.1. Hongos de actuación sobre el sistema radicular y cuello .....                                                                                                                        | 294 |
| 3.1.1. Especies patógenas vegetales pertenecientes al género <i>Pythium</i> .....                                                                                                         | 294 |
| 3.1.2. Especies patógenas vegetales pertenecientes al género <i>Phytophthora</i> .....                                                                                                    | 295 |
| 3.1.2.1. <i>Rhizoctonia solani</i> .....                                                                                                                                                  | 296 |
| 3.2. Hongos de actuación sobre el sistema vascular.....                                                                                                                                   | 297 |
| 3.2.1. Especies patógenas vegetales pertenecientes al género <i>Fusarium</i> .....                                                                                                        | 298 |
| 3.2.1.1. <i>F. o. f.sp. melonis</i> .....                                                                                                                                                 | 298 |
| 3.2.1.2. <i>F.o. f. sp. lycopersici</i> .....                                                                                                                                             | 299 |
| 3.2.1.3. <i>F.o. f. sp. radicis-lycopersici</i> .....                                                                                                                                     | 299 |
| 3.2.1.4. <i>F.o. f. sp. lactucum</i> , .....                                                                                                                                              | 300 |
| 3.3. Hongos de actuación aérea.....                                                                                                                                                       | 300 |
| 3.3.1. <i>Didymella bryoniae</i> .....                                                                                                                                                    | 301 |
| 3.3.2. <i>Botrytis cinerea</i> .....                                                                                                                                                      | 302 |
| 3.3.3. Enfermedades producidas por los «oídios» o la ceniza .....                                                                                                                         | 303 |
| 3.3.4. Enfermedades producidas por los «mildius» .....                                                                                                                                    | 304 |
| 4. Virus relevantes en los cultivos hortícolas de almería.....                                                                                                                            | 306 |
| 4.1. Virus transmitidos por contacto .....                                                                                                                                                | 307 |
| 4.1.1. Tobamovirus .....                                                                                                                                                                  | 307 |
| 4.1.2. El virus del mosaico del pepino dulce <i>PepMV</i> .....                                                                                                                           | 310 |
| 4.2. Virus transmitidos por <i>Trips</i> .....                                                                                                                                            | 311 |
| 4.2.1. Virus del bronceado del tomate (TSWV = <i>Tomato spotted wilt virus</i> ) .....                                                                                                    | 311 |
| 4.3. Virus transmitidos por mosca blanca.....                                                                                                                                             | 313 |
| 4.3.1. Virus de la «cuchara» o del rizado foliar amarillo del tomate<br>(TYLCD= <i>Tomato yellow leave curl disorder</i> ) .....                                                          | 313 |
| 4.3.2. Virus de la clorosis del tomate (ToCV= <i>Tomato chlorosis virus</i> )<br>y Virus de la clorosis infecciosa del tomate (TiCV= <i>Tomato infectious<br/>chlorosis virus</i> ) ..... | 315 |
| 4.3.3. Virus de «torrao» del tomate (ToTV= <i>Tomato torrado virus</i> ) .....                                                                                                            | 316 |

|                                                                                                                                       |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.3.4. Virus del amarillo y enanismo de las cucurbitáceas<br>(CYSDV = <i>Cucurbit yellow stunting disorder virus</i> ) .....          | 317 |
| 4.3.5. Virus de las venas amarillas del pepino (CVYV = <i>Cucumber vein<br/>yellowing virus</i> ) .....                               | 318 |
| 4.4. Virus transmitidos por pulgones .....                                                                                            | 319 |
| 4.4.1. Virus del mosaico del pepino (CMV = <i>Cucumber mosaic virus</i> ) .....                                                       | 319 |
| 4.4.2. Virus Y de la patata (PVY = <i>Potato virus Y</i> ) .....                                                                      | 321 |
| 4.4.3. Virus del mosaico amarillos del calabacín (ZYMV = <i>Zucchini yellow<br/>mosaic virus</i> ) .....                              | 323 |
| 4.4.4. Virus de las manchas anulares de la papaya<br>(PRSV = <i>Papaya ringspot virus</i> ) .....                                     | 324 |
| 4.4.5. Virus 2 del mosaico de la sandía (WMV-2: <i>watermelon<br/>mosaic virus-2</i> ) .....                                          | 325 |
| 4.5. Virus del amarillo de las cucurbitáceas transmitido por pulgones<br>(CABYV = <i>cucurbit aphid-borne yellowing virus</i> ) ..... | 326 |
| 4.6. Virus transmitidos por vectores del suelo .....                                                                                  | 327 |
| 4.6.1. Virus del moteado necrótico o del «cribado» del melón (MNSV:<br><i>melón necrotic spot virus</i> ) .....                       | 327 |
| 5. Control de las enfermedades .....                                                                                                  | 329 |
| 5.1. Control de la entrada del patógeno .....                                                                                         | 329 |
| 5.2. Control de la dispersión del patógeno caso de que entrara<br>en el invernadero .....                                             | 331 |
| 5.3. Control del patógeno entre campañas .....                                                                                        | 333 |
| Referencias bibliográficas .....                                                                                                      | 335 |

## Gestión integrada de plagas y enfermedades en pimiento .....337

Francisco Salvador Sola

|                                                                                          |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 1. Definición .....                                                                      | 337 |
| 2. Identificación de los problemas fitopatológicos en pimiento .....                     | 338 |
| 3. Mosca blanca del tabaco ( <i>Bemisia tabaci</i> ) .....                               | 338 |
| 4. Trips occidental de las flores ( <i>Frankliniella occidentalis</i> ) .....            | 343 |
| 5. Araña roja ( <i>Tetranychus</i> spp.) .....                                           | 346 |
| 6. Araña blanca ( <i>Polyphagotarsonemus latus</i> ) .....                               | 348 |
| 7. Orugas defoliadoras .....                                                             | 349 |
| 8. Pulgones .....                                                                        | 351 |
| 9. Plagas secundarias .....                                                              | 353 |
| 9.1. Pseudocóccidos ( <i>Phenacoccus solani</i> y <i>Phenacoccus madeirensis</i> ) ..... | 354 |
| 9.2. Hormigas ( <i>Tapinoma nigerrimum</i> ) .....                                       | 355 |
| 9.3. Panderola ( <i>Nezara viridula</i> ) .....                                          | 356 |
| 9.4. Chinche del algodón ( <i>Creontiades pallidus</i> ) .....                           | 358 |
| 9.5. Mosca menor del pimiento ( <i>Atherigona orientalis</i> ) .....                     | 359 |
| 9.6. Mosquito verde ( <i>Empoasca</i> spp.) .....                                        | 361 |

|                                                                     |     |
|---------------------------------------------------------------------|-----|
| 10. Oidiopsis de las solanáceas ( <i>Leveillula taurica</i> ) ..... | 362 |
| 11. Prodedumbre gris ( <i>Botrytis cinerea</i> ) .....              | 364 |

## Gestión integrada de plagas y enfermedades en tomate.....369

David E. Meca Abad

|                                                                                                    |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 1. Introducción .....                                                                              | 369 |
| 2. Plagas más usuales del cultivo de tomate.....                                                   | 370 |
| 2.1. Ácaros .....                                                                                  | 370 |
| 2.2. Eriófidos del tomate: <i>Aculops lycopersici</i> (Massee) .....                               | 371 |
| 2.3. Mosca blanca ( <i>Bemisia tabaci</i> ).....                                                   | 372 |
| 2.4. Trips ( <i>Frankliniella occidentalis</i> (Pergande) ( <i>Thysanoptera: Thripidae</i> ) ..... | 374 |
| 2.5. Nematodos formadores de nódulos en las raíces ( <i>Meloidogyne spp.</i> ) .....               | 375 |
| 2.6. Minadores de hoja.....                                                                        | 378 |
| 2.7. Pulgones .....                                                                                | 379 |
| 2.8. Lepidópteros (Orugas) .....                                                                   | 380 |
| 3. Enfermedades del cultivo de tomate .....                                                        | 384 |
| 3.1. Hongos.....                                                                                   | 384 |
| 3.1.1. Fusariosis vascular ( <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i> ).....            | 384 |
| 3.1.2. Podredumbre gris ( <i>Botrytis cinerea</i> Pers.) .....                                     | 384 |
| 3.1.3. Mildiu ( <i>Phytophthora infestans</i> ) .....                                              | 385 |
| 3.1.4. Oidiopsis ( <i>Leveillula taurica</i> (Lev.), <i>Oidium neolycopersici</i> ).....           | 386 |
| 3.1.5. Cladosporiosis ( <i>Fulvia fulva</i> (Cke.)) .....                                          | 386 |
| 3.1.6. Alternaria ( <i>Alternari dauci</i> f. sp. <i>solani</i> (Sokaner)) .....                   | 387 |
| 3.1.7. Podredumbres detallo y raíz ( <i>Phytium spp</i> y <i>Phytophthora spp.</i> ) .....         | 387 |
| 3.2. Bacteriosis.....                                                                              | 388 |
| 3.3. Virus .....                                                                                   | 389 |
| 3.3.1. Virus del rizado amarillo del tomate (TYLCD) .....                                          | 389 |
| 3.3.2. Virus del mosaico del pepino dulce (PEPMV).....                                             | 389 |
| 3.3.3. Virus de la clorosis del tomate (ToCV).....                                                 | 390 |
| Referencias bibliográficas .....                                                                   | 390 |

## Gestión de envases agroquímicos .....393

Victorino Martínez Puras

## Certificación y trazabilidad.....399

Francisco Guillén Salmerón



# Introducción

*Juan Carlos Gázquez Garrido y José Luis Racero Luque-Romero*

Estación Experimental de Cajamar 'Las Palmerillas'

La sociedad europea es cada vez más exigente en lo que respecta a la calidad de los alimentos que consume, y sensible a todo lo que se relaciona con las prácticas agrícolas que pueden afectar al ambiente. En consecuencia, los productores deben ser capaces de garantizar que sus procesos productivos sean respetuosos con el ambiente y los trabajadores, a la vez que las técnicas agrícolas que utilizan proporcionen unos alimentos de calidad y libres de residuos que puedan afectar a la salud de los consumidores. A este respecto, la utilización responsable y eficiente de los productos fitosanitarios es de importancia primordial, para conseguir estos objetivos minimizando el efecto sobre el medioambiente.

La formación es uno de los elementos básicos en los que se apoya el desarrollo de la agricultura intensiva bajo plástico. Este tipo de agricultura es muy dinámica y presenta un elevado grado de profesionalización; por ello tanto los técnicos como agricultores demandan continuamente nuevos conocimientos. En este sentido, desde su creación en 1975, está apostado por la innovación agroalimentaria y posterior transferencia al sector.

El presente material didáctico ha sido elaborado siguiendo un adecuado proceso de transferencia de tecnología en el que han participado investigadores, técnicos y formadores con el objetivo de que este manual se convierta en una herramienta útil e innovadora, para los formadores de otras zonas del arco mediterráneo que quieran aprovechar la experiencia del sureste de España para implantar estrategias de gestión integrada de plagas.

Con este manual se pretende dar a conocer los procedimientos que han permitido que la Gestión Integrada de Plagas en invernadero que se está llevando a cabo en España en general, y en Almería en particular, sea un referente para producciones mediterráneas. En él destacan las medidas relativas a la adopción de buenas prácticas, cuyo cumplimiento es clave para minimizar el impacto del uso de fitosanitarios en el medioambiente, animales y la salud del trabajador.



# Justificación del proyecto

*Jan Rether<sup>(a)</sup> y Juan Carlos Gázquez Garrido<sup>(b)</sup>*

<sup>a</sup>Project lead of the Residues Management Project at ECPA  
y <sup>b</sup>Estación Experimental de Cajamar ‘Las Palmerillas’

La industria fitosanitaria europea inicia un Proyecto en colaboración con la Estación Experimental de Cajamar ‘Las Palmerillas’ con el objetivo de fomentar las buenas prácticas fitosanitarias, y de mostrar que la producción agrícola mediterránea bajo invernadero, es un ejemplo de buen hacer.

La producción de frutas y hortalizas es un elemento fundamental de nuestra alimentación. Todos deseamos comer alimentos sanos, seguros y asequibles. Pero muchos consumidores continúan preocupados por la existencia de residuos de plaguicidas en frutas y verduras, a pesar del probado nivel de seguridad de los alimentos cultivados en Europa, como año tras año, demuestran los resultados del informe anual llevado a cabo por la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA).

En los últimos años se ha avanzado mucho. Y a pesar de que el cumplimiento (97,5 %) de los límites máximos de residuos (LMR) ha sido general, la industria fitosanitaria no es ajena a la preocupación manifestada por la sociedad europea y es consciente de que se puede hacer más. La European Crop Protection Association (ECPA) ha puesto en marcha un proyecto específico en el marco de la nueva iniciativa de ECPA para desarrollar proyectos que contribuyan a una agricultura europea sostenible como respuesta a las expectativas de los consumidores. El proyecto tiene como objetivo minimizar, aún más, la presencia de trazas de plaguicidas en los alimentos, y aumentar la confianza del consumidor en la seguridad alimentaria.

Este proyecto se lleva a cabo junto con la Estación Experimental de Cajamar ‘Las Palmerillas’, situado en el corazón de la producción española en invernadero, Almería. Se desarrollará una formación de formadores, y con ello, un mejor conocimiento de los pasos para una mejor gestión de residuos que luego se compartirá con otros países.

ECPA cree que la realización de este proyecto puede ayudar a avanzar en la gestión de residuos en los alimentos frescos del área mediterránea y con ello,

además, esperan trasladar a los consumidores un mensaje de que la seguridad de los alimentos que llegan a su mesa está garantizada. Para ello trabajamos cada día. En este sentido, la industria fitosanitaria en Europa se ha comprometido a ayudar a fortalecer los programas de educación, de formación y de asesoramiento, promoviendo las buenas prácticas fitosanitarias como la mejor garantía de seguridad alimentaria y sostenibilidad agraria.

El objetivo final de la iniciativa es aumentar la confianza del consumidor en la seguridad alimentaria, e incluirá cursos para formadores que extiendan las buenas prácticas en el uso de fitosanitarios.

«La agricultura española, y en particular la almeriense, ha hecho y sigue haciendo un trabajo excelente, optimizando el uso de los productos fitosanitarios. Son las Buenas Prácticas de nuestros agricultores, en la utilización de estas soluciones, las que aseguran la eficacia, seguridad y rentabilidad de su actividad».

**Figura 1. Aplicación de fitosanitarios en cultivo de tomate en invernadero**



## La innovación agroalimentaria en Cajamar

Cajamar impulsa desde hace más de 40 años una plataforma de innovación de referencia en la agricultura intensiva mediterránea, basada en el contacto permanente con todos los agentes de la cadena de valor a través de los programas desarrollados en su Estación Experimental de El Ejido, en Almería, y en su Centro de Experiencias de Paiporta, en Valencia.

En las más de 20 hectáreas que ocupan ambas instalaciones, confluyen en la actualidad las demandas de los productores, el conocimiento científico-técnico aplicado y los nuevos desarrollos empresariales en la economía real, con el objetivo de establecer y consolidar las relaciones necesarias que impulsen el desarrollo del sector agroalimentario en su conjunto. Promoviendo la participación activa de agricultores, profesionales y empresas en los diferentes programas de I+D, y colaborando con otras entidades, instituciones académicas y centros tecnológicos para reforzar y ampliar sus trabajos de investigación y experimentación, en el contexto de la estrategia europea ‘Horizonte 2020’. De cara al futuro el interés está focalizado en las cuestiones relativas al uso intensivo de tecnología, la generación de valor añadido, la eficiencia en el aprovechamiento de los recursos disponibles y la diferenciación comercial como herramienta competitiva de primer orden en el mercado global.

La actividad de innovación y transferencia de Cajamar se organiza en torno a cuatro líneas de trabajo fundamentales: bioeconomía, agrosostenibilidad, tecnología de invernaderos y alimentación y salud. El área de **Bioeconomía** está centrada en la valorización de subproductos para la obtención de compuestos de alto valor para la industria alimentaria, así como la utilización de microorganismos como estimulantes de la producción agraria, en nuestro caso bacterias y microalgas principalmente, para el desarrollo de bioestimulantes y bioplaguicidas y la depuración de aguas. Asimismo, se trabaja en el aprovechamiento de los desechos hortofrutícolas para su transformación en productos de alto valor como envases sostenibles con propiedades mejoradas, y aditivos o conservantes para la preparación de alimentos saludables.

En el área de **Agrosostenibilidad** los trabajos se dirigen a la mejora de la eficiencia en el uso de agua, los fertilizantes, las enmiendas orgánicas y los recursos energéticos, el control integrado de plagas, el desarrollo de nuevas variedades. Se realiza un seguimiento y evaluación de la tecnología disponible para el fertirriego, identificando las técnicas innovadoras para el uso sostenible del agua, destacando en este sentido la denominada «agricultura de precisión». Actualmente estamos inmersos en varios proyectos en diferentes cultivos que permiten el control, gestión y automatización del agua y fertilizantes aportados a los cultivos mediante el uso de sensores, modelos y software de control. En agricultura ecológica trabajamos con diferentes enmiendas orgánicas con cultivos en invernadero y al aire libre, y en la búsqueda de herramientas que permitan identificar si las hortalizas son producidas bajo técnicas ecológicas o convencionales. Y seguimos apostando por el control biológico en general, y

en su modelo por conservación en particular, como una estrategia novedosa para nuestro sistema productivo y que complementa la gestión integrada que se hace dentro de los invernaderos.

En **Alimentación y Salud** se sigue avanzando en la caracterización de las propiedades nutricionales, preventivas y saludables de frutas y hortalizas, y se está trabajando en el desarrollo de nuevos formatos alimentarios elaborados a partir de matrices alimentarias con materias primas naturales aditivadas con estabilizadores, extractos, compuestos de alto valor y usos de tecnologías que consigan mejorar la calidad nutricional y saludable para un fin preventivo concreto. Por otro lado, conscientes de la necesidad del sector de la aplicación de nuevas tecnologías para alargar la vida comercial en poscosecha de frutas y hortalizas se ha trabajado para cuantificar la eficacia y viabilidad de envases biofuncionales que presentan acción antimicrobiana y capacidad de absorción de etileno.

Finalmente, en el área de **Tecnología de Invernaderos** se realizan proyectos junto a compañías productoras de aditivos dirigidos a mejorar la resistencia de los plásticos frente al uso de azufre y cloro, lo que reducirá su impacto medioambiental facilitando su reciclado. Con los sistemas de semiforzado se desarrollan mejores materiales para utilizarlos bajo las técnicas de cubierta flotante, micro o macrotúneles, se investiga en el desarrollo de mantas térmicas aditivadas mediante productos repelentes de origen natural para hacerlas más eficientes frente a las plagas. También se estudian sistemas para conseguir una gestión eficiente de energía (electricidad y calor/frío de proceso), agua y CO<sub>2</sub>, en sistemas productivos apoyados en energías renovables y sistemas de almacenamiento. En fruticultura se está implantando cada vez más, nuevas técnicas intensivas y superintensivas, como fórmula para mejorar la eficiencia de los cultivos, analizando diferentes densidades de plantación, sistemas de poda, evaluación de riego en algunos cultivos tradicionalmente de secano, diseño de riego deficitario, cultivos bajo estructuras de malla e incluso de invernadero. En este sentido, una vía directa de innovación, que permite un avance rápido en la mayoría de los cultivos, es la incorporación de nuevo material vegetal que aporten mejoras en producción, calidad, resistencias a plagas y enfermedades o que permitan una diferenciación en el mercado a través de nuevos tipos y especialidades. En concreto en la búsqueda de cultivos alternativos, se está trabajando con pitahaya y especialmente con papaya, optimizando el manejo de estos cultivos en invernadero.

# Almería, un ejemplo de gestión integrada de plagas en invernaderos mediterráneos

*Juan Carlos Gázquez Garrido*

Estación Experimental de Cajamar 'Las Palmerillas'

## 1. Introducción

La tendencia actual en materia de protección de cultivos, está orientada a la producción de alimentos de calidad, sin dejar de lado la protección medioambiental. Para ello, es importante reducir el uso de productos químicos que pueden ser perjudiciales para la salud de las personas y del medioambiente y orientar la protección fitosanitaria hacia métodos que tengan esto en cuenta, como son la el control biológico. Esta forma de producción de alimentos trata de valorizar al máximo los recursos naturales, al tiempo que mantiene los umbrales de rentabilidad y los niveles de producción necesarios que las explotaciones agrícolas necesitan para ser competitivas, produciendo alimentos sanos que den respuesta a las necesidades de los mercados y de los propios consumidores, cada vez más exigentes.

La Unión Europea (UE) establece un marco de actuación comunitaria para conseguir un uso sostenible de los plaguicidas. Las medidas propuestas se refieren especialmente al refuerzo de la vigilancia, a la formación y la información de los usuarios, así como a las medidas específicas de utilización de dichas sustancias.

La gestión integrada de plagas (GIP) es una estrategia de control que consiste básicamente en la aplicación racional de una combinación de medidas biológicas, biotecnológicas, químicas, de cultivo o de selección de vegetales, de modo que la utilización de productos fitosanitarios se limite al mínimo necesario. Estas medidas de control se deben combinar de forma inteligente con el fin de mantener los niveles poblacionales de los fitófagos plaga por debajo de sus umbrales económicos de daños.

## 2. Situación actual en arco mediterráneo: Almería, ejemplo del buen hacer

A diferencia de otros países del norte de Europa, todos los países del arco mediterráneo presentan una especial problemática en el control de insectos ya que hay una mayor incidencia de enfermedades y plagas.

Las exigencias derivadas de la seguridad alimentaria y la creciente sensibilización por la protección medioambiental están motivando la adopción de nuevos métodos productivos en la actividad agraria que atienden a un modelo de desarrollo más sostenible. En concreto, en los cultivos intensivos que se realizan en invernadero en el sureste de España, se ha priorizado la implementación del control biológico buscando reducir al mínimo el uso de productos fitosanitarios de síntesis.

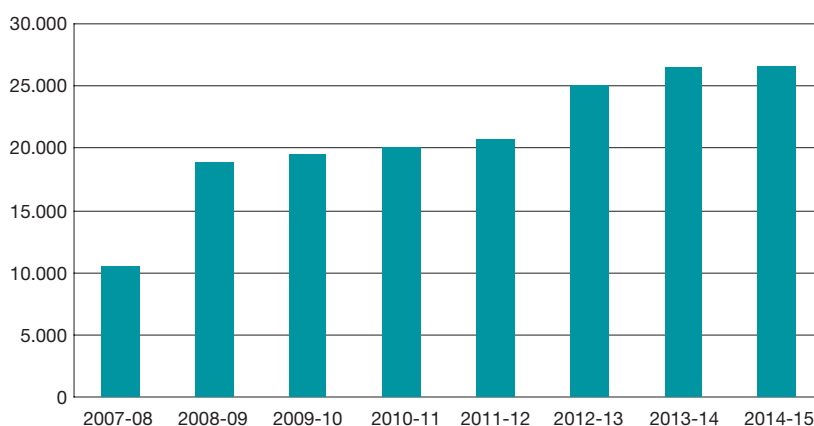
La situación respecto a los niveles de residuos de productos fitosanitarios en las hortalizas de Almería, ha mejorado muchísimo en los últimos años. En el año 2007, a raíz de los problemas con residuos de plaguicidas detectados en los productos exportados y del incremento de las resistencias a los productos fitosanitarios por parte de las plagas, hubo un cambio de mentalidad del sector en relación al control de las plagas empezado a utilizar de forma masiva el Control Biológico, siendo el elemento clave para una gestión integrada de plagas. En la actualidad, en Almería hay 28.500 ha con control biológico de plagas, lo que la sitúa en el panorama internacional como la mayor concentración de invernaderos del mundo donde se realiza control biológico de plagas.

**Figura 1. Vista aérea de la mayor concentración de invernaderos del mundo, la zona de poniente de Almería**



El Gráfico 1 muestra la evolución de las hectáreas de cultivos con control biológico en Almería, el gran cambio experimentado en la campaña 06/07 de 1.100 ha a las 11.100 de la campaña 07/08. Pero para que se pueda producir un cambio tan radical, es necesario, que la alternativa planteada mejore la situación anterior de forma inequívoca como sucedió en Almería, la adopción de GIP mejoró la situación tanto desde el punto de vista técnico como comercial.

**Gráfico 1. Evolución de la superficie de cultivo con gestión integrada de plagas en Almería. En hectáreas**



Fuente: *Análisis de la Campaña hortofrutícola de Almería (2014-2015)*. Cajamar Caja Rural.

En la actualidad la inmensa mayoría de los cultivos hortícolas del sureste de España están llevando a cabo programas de Gestión Integrada de Plagas y están certificados por sistemas de calidad como por ejemplo GLOBALG.A.P. Y se rigen por los criterios de prevención, observación, toma de decisiones fundamentada e intervención. La clave para asegurar la producción sostenible de alimentos de alta calidad radica en el uso responsable de todas las herramientas disponibles para proteger las plantas contra plagas y enfermedades, incluyendo el uso racional de fitosanitarios, de acuerdo con las buenas prácticas agrícolas y los principios de la Gestión Integrada de Plagas (GIP).

Las estrategias de Gestión Integrada de plagas y enfermedades, están basadas en la integración de las siguientes medidas de control, donde se priorizan las medidas preventivas, tecnológicas y biológicas respecto a la aplicación de productos fitosanitarios.

- a) Aplicación de medidas preventivas y de manejo del cultivo:
  - Mejora de las estructuras de invernadero que permiten una mayor hermeticidad y mejor control del clima.
  - Uso de mallas antiinsecto más eficaces.
  - Utilización del material vegetal más idóneo, utilización de portainjertos y de variedades resistentes a virosis.
  - Manejo de la ventilación del invernadero.
  - Optimización de las técnicas de cultivo (deshojados, eliminación de inóculo, etc.).
- b) Aplicación de medidas de control tecnológico:
  - Trampas cromáticas.
  - Trampas de feromonas para captura masiva.
  - Control de plagas mediante Confusión sexual.
- c) Control biológico:
  - Se da prioridad a la utilización de los insectos beneficiosos disponibles para el control de las plagas y se potencia su desarrollo.
- d) Aplicación de otros medios de defensa fitosanitaria, como son los inductores de defensas de las plantas o los extractos vegetales.
- e) Control químico:
  - Por último si es necesario se recurre a la aplicación de pesticidas selectivos y muy respetuosos con los insectos beneficiosos.

### **3. Factores clave del éxito de la gestión integrada de plagas en Almería**

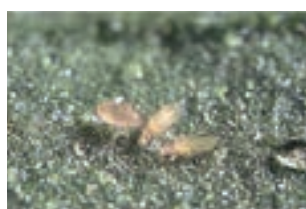
La principal motivación que llevó al sector productor de Almería a implantar estrategias de control integrado fue dar una respuesta a las «exigencias de los supermercados», y entre los factores más importantes que han permitido este cambio podemos citar los siguientes:

- a) *Investigación e innovación pública y privada*, que permitió mejorar los resultados del control biológico. Inicialmente, para el control biológico se aplicaban los protocolos desarrollados en países del norte de Europa, que no eran eficaces al 100 %, ya que se trataba de organismos no adaptados a las condiciones climáticas del mediterráneo, por ello, en los últimos años se han puesto a punto protocolos de sueltas adaptados a las condiciones del sureste peninsular, con organismos autóctonos, como por ejemplo *Nesidiocoris tenuis* (2003) y *Amblyseius swirskii* (2005).

**Figura 2. *Orius laevigatus***



**Figura 3. *Amblyseius swirskii***



**Figura 4. *Nesidiocoris tenuis***



- b) *Formación de los agentes implicados*, por parte de centros de investigación tanto privados como públicos (Cajamar, IFAPA, COEXPHAL, UAL, Hortyfruta, etc.) se ha realizado una importante labor para formar tanto a técnicos como a agricultores en el manejo de las plagas y sus enemigos naturales. El éxito de la gestión integrada de plagas, aplicada con éxito por los técnicos, ha despertado un interés generalizado, motivando a muchísimos agricultores a participar en cursos de formación específicos.
- c) Gran presencia de técnicos (un técnico por cada cinco agricultores) que realizan un control exhaustivo y un asesoramiento adecuado.
- d) Apoyo administrativo del gobierno local (Junta de Andalucía) mediante subvenciones y cursos durante los primeros años, que para el caso del cultivo del pimiento sí jugó un papel muy importante, en cambio, para el caso del cultivo del tomate años después no ha sido necesario.
- e) La predisposición al cambio de los agricultores, innovadores y su gran capacidad de adaptación.

**Figura 5. Grupo de agricultores durante un curso de formación**



**Figura 6. *Bombus terrestris* con una flor de tomate**



#### **4. Situación actual. Exigencias de los supermercados**

En la Actualidad en los invernaderos del área mediterránea, se realiza un cumplimiento estricto de la legislación, es decir, solo se utilizan materias activas autorizadas a las dosis aconsejadas y se respetan los plazos de seguridad. Además se han desarrollado nuevas materias activas que son específicas y muy respetuosas con los insectos beneficiosos.

**Figura 7. Lineal de cuarta gama en un supermercado**



Y aunque el primer instrumento para alcanzar el objetivo de producir alimentos de alta calidad y seguros para los consumidores debería ser el marco reglamentario europeo legalmente establecido, esto no es realmente así, porque aunque el productor cumpla esta normativa y esté certificado por sistemas globales (p. ej.: GLOBALG.A.P.) donde se realizan un elevado número de análisis como medidas de autocontrol, no es suficiente para los supermercados, porque existe un problema de falta de confianza del consumidor, por lo que la mayoría de los supermercados exigen a los proveedores el seguimiento de unos criterios específicos de calidad, creando sus propias Normas (*Secondary Standards*), así en la mayoría de los casos, cada supermercado tiene su propio criterio, y todos han bajado el nivel de residuos que permiten por debajo de la máxima concentración de residuos legal, es decir, por debajo del límite máximo de residuos o LMR y exigen un porcentaje del valor oficial del LMR y del valor oficial del ARfD (Dosis de Referencia Aguda), siendo esta la concentración de una sustancia en un alimento cuya ingesta en una sola comida no representa riesgo alguno para la salud expresada en mg del pesticida por kilogramo de masa corporal. Otra de las exigencias impuestas por los supermercados ha sido el demandar productos que no contengan trazas de más de 3 o 4 materias activas diferentes, es decir, presencia de materias activas por encima del límite de detección, lo que unido a que en los últimos años han bajado los límites legales de detección de presencia de restos de fitosanitarios, impiden que se realice un uso sostenible de fitosanitarios.

Estas exigencias de los supermercados (*Secondary Standards*) no se rigen por criterios técnicos, y no promueven la alternancia de materias activas, por lo que pueden provocar en un futuro la aparición de resistencias y ponen en peligro la sostenibilidad de la agricultura europea al forzar un uso inadecuado de los productos de sanidad vegetal tal como expresa el Insecticide Resistance Action Committee (IRAC).

El uso sostenible de los productos fitosanitarios se basan en estrategias anti-resistencia, que se fundamentan en la alternancia en el uso de moléculas con diferente modo de acción o distinto mecanismo de resistencia y en la limitación del número de aplicaciones de un mismo producto. Dichas restricciones están totalmente en contra de un uso correcto de los productos fitosanitarios y por ello, están provocando el aumento de la aparición de resistencias y poniendo en riesgo la sostenibilidad de nuestra agricultura.

En definitiva, estas exigencias aumentará la posibilidad de que determinadas plagas se hagan resistentes a los fitosanitarios ya que los productores tendrán menos productos con los que combatir dichas plagas o enfermedades. La reducción de los productos disponibles dificulta las estrategias de gestión de resistencias en campo, ya que es clave tener un elenco de herramientas suficiente de productos fitosanitarios disponibles, para evitar el desarrollo de resistencias.

## 5. Retos y oportunidades en la protección de cultivos durante la próxima década

Los retos de la agricultura se centran en producir más alimentos consumiendo menos recursos y en aumentar la calidad para ser más competitivos, siendo capaces de satisfacer las demandas de los consumidores.

No obstante, *Secondary Standards* son en realidad un contrato privado de aceptación de las normas por los productores, y aunque son discutibles, siguen siendo una demanda de un cliente que libremente puede elegir donde compra sus productos y el gran reto a nivel comercial es el de producir productos libres de residuos (o con los mínimos residuos posibles). Para ello es necesario:

- a) Extender al 100 % de los cultivos el control biológico.
- b) Las soluciones químicas o biológicas, son limitadas y no son suficientes para luchar en todos los cultivos frente a todas las plagas y enfermedades.
- c) Se necesitan nuevas materias activas, que además de eficaces deben ser respetuosas con los insectos beneficiosos y muy poco residuales.
- d) Mejorar el control de plagas emergentes como Nezara, Creontiades, Phenacoccus... Existen plagas donde se disponen de escasos medios para su control ya sean químicos o biológicos.

**Figura 8. Adulto *Nezara viridula***



**Figura 9. *Creontiades pallidus***



**Figura 10. Hembra adulta de *Phenacoccus solani***



Fuente: F. Salvador Sola.

- e) Antes se utilizaban productos químicos de amplio espectro y ahora utilizan productos químicos muy selectivos, esto hace por un lado que aparezca nuevas plagas y por otro que aumenten las posibilidades de generar resistencias.
- f) Es necesario optimizar el uso de fungicidas, la mayoría de los problemas de residuos se deben a la aplicación de fungicidas, por ello es necesario mejorar las estructuras de invernadero para controlar el clima y desarrollar el control de las enfermedades a través de microorganismos.
- g) No obstante, es fundamental que se continúe la búsqueda de soluciones para las plagas para las que no existe una solución biológica eficaz. En pimiento queda pendiente el control de lepidópteros, que hasta ahora ha sido solventado en gran parte por el uso del virus de la poliedrosis. Y en otros cultivos como el tomate falta algún depredador eficaz contra las mosca blanca, trips o vasate (*Aculops lycopersici*).
- h) Las empresas productoras de enemigos naturales, pese a la reducción de los márgenes de ventas, deben seguir investigando para dotarnos de nuevos insectos auxiliares con los que poder controlar algunas de estas nuevas plagas.
- i) También es necesario incorporar medidas de sostenibilidad al control de plagas, en la Estacion Experimental Cajamar 'Las Palmerillas' estamos trabajando en la incorporación de barreras vegetales como reservorio de los insectos beneficiosos en el exterior de los invernaderos.

**Figura 11. Daños producidos por *Aculops lycopersici* en cultivo de tomate**



# Estructuras de invernadero

*Juan Carlos López Hernández*

Estación Experimental de Cajamar 'Las Palmerillas'

## 1. Introducción

La crisis energética que tuvo lugar en la década de los 70 del siglo pasado puede ser considerada como la principal razón para el desarrollo de la horticultura en la zona mediterránea; debido al incremento de los costes energéticos la superficie de invernadero de los países del norte permaneció estable o disminuyó mientras que creció mucho en zonas donde las necesidades de calefacción eran mucho menores. La horticultura mediterránea se benefició de la mayor disponibilidad de luz en otoño y en invierno y de la suavidad del clima invernal gracias a la proximidad al mar de las zonas de producción (Castilla y Hernández, 2005). El escenario energético llevó al establecimiento de dos modelos de producción, claramente, diferenciados. Por un lado los invernaderos del Norte adoptaron alta tecnología, mayor transmisividad a la luz, técnicas de ahorro de energía para la calefacción y optimizaron todos los medios de producción para alcanzar cosechas muy elevadas. Hoy en día, la gran mayoría de invernaderos del Norte usan cristal como material de cubierta. Por otro lado tenemos los invernaderos del Sur o Mediterráneos, adaptados a las condiciones locales con inversiones moderadas y muy pocos (o ningún) sistema de control climático aparte de la ventilación natural; esto genera condiciones subóptimas para la producción de los cultivos y la consecuencia son menores cosechas que en los invernaderos altamente tecnificados. La gran mayoría de invernaderos Mediterráneos usan plástico (en concreto *film* plástico) como material de cubierta (Castilla, 2005).

## 2. Principales tipos de invernadero de la cuenca Mediterránea

### 2.1. *Invernaderos locales o artesanales*

Este tipo de invernaderos son normalmente estructuras de bajo coste con muy poco control a parte de la ventilación; se construyen con materiales locales (p. ej. madera) y se cubren con lámina plástica de polietileno. El invernadero tipo parral (Figura 1) es posiblemente el ejemplo más extendido de este tipo de estructuras en términos de superficie. Solamente en Almería (España) cubre aproximadamente un área de 28.576 ha (CAPMA, 2013b). El invernadero parral está constituido por una estructura vertical de pilares rígidos (de madera o de acero) sobre la cual se coloca una doble malla de alambre que sirve para fijar la lámina plástica de cubierta. Al igual que en otras zonas Mediterráneas, la disponibilidad y el precio de los materiales locales así como la experiencia en su construcción han sido fundamentales en la expansión de este tipo de invernadero.

**Figura 1. Invernaderos tipo parral**



La mayor ventaja de estos invernaderos artesanales es el bajo coste de inversión, lo que los hace muy apropiados para explotaciones de pequeños productores. También tienen algunos problemas de importancia asociados a su diseño, como la falta de hermeticidad, la baja transmisividad a la radiación

de la época invernal, etc., pero quizás el principal inconveniente es que la ventilación natural es insuficiente, lo cual se debe a:

- Pequeña superficie de ventilación, resultado de una mala combinación de ventilación lateral y cenital y a la construcción de ventanas cenitales pequeñas debido al miedo de los agricultores a rachas repentinas de fuertes vientos, debido a que la automatización en la apertura y cierre de las mismas es anecdótica.
- Diseños de ventanas poco eficientes: las ventanas cenitales de tipo abatible son siempre preferibles frente a las de tipo enrollable dado que consiguen mayores tasas de ventilación a igualdad de tamaño (casi tres veces más intercambio de aire de acuerdo con Pérez-Parra *et al.*, 2004).
- Uso de mallas antiinsecto de baja porosidad. Como se discutirá después, las mallas antiinsectos que se colocan en las ventanas reducen en gran medida la tasa de intercambio de aire del invernadero
- La escasa distancia que hay entre invernaderos en muchas zonas de producción, que limita mucho la ventilación, sobre todo la ventilación lateral.

En relación a la transmisión de la luz, además de las propiedades del material de cubierta y del número de estructuras de soporte opacas, las simulaciones informáticas muestran que durante el invierno, incrementar la pendiente del invernadero de 11 a 45° puede incrementar la transmisión diaria de luz en cerca de un 10 % (Castilla, 2005), al reducirse las pérdidas por reflexión. En la práctica, es más útil encontrar un compromiso entre tener una buena transmisión de luz y los costes constructivos, así que la mayoría de los nuevos invernaderos tienen una pendiente de cubierta de 25-30°.

## 2.2. Invernaderos industriales de cubierta plástica

En este grupo se pueden incluir un gran número de estructuras (invernaderos multicapilla, invernadero multicapilla asimétricos, invernaderos tipo «diente de sierra», invernaderos tipo multitúnel de cubierta curva, etc.). El sistema multicapilla de arco prevalece entre los de tipo industrial, en la mayoría de los casos cubiertos con *film* plástico o, en algunos casos, con materiales rígidos o semirígidos (preferentemente policarbonato). Con frecuencia el techo se cubre con *film* plástico mientras que los laterales y los frontales se

cubren con plásticos semirígidos (Figura 2). Estos multitúnel con forma de arco están normalmente contruidos con acero galvanizado y son preferidos por los cultivadores de ornamentales y por los semilleros. Los invernaderos tipo multitúnel son más herméticos que los de tipo artesanal y más fáciles de equipar con refrigeración, calefacción y/o control de clima por ordenador.

En general, este grupo incluye invernaderos los cuales tienen normalmente sistemas de ventilación más eficientes: las ventanas cenitales son normalmente más grandes que en los invernaderos artesanales y suele haber al menos una ventana por capilla (también se encuentran casos de ventanas dobles en cada capilla, Figura 2). Los invernaderos tipo multicapilla de arco presentan muchas ventajas pero también algunos problemas. Por una parte, puede producirse condensación en la parte superior del arco, así que es probable que se produzca goteo durante el invierno. Se han realizado intentos para solucionar este problema incrementado la pendiente de forma que los arcos sean de tipo apuntado (gótico) en lugar de semicirculares, pero esto no permite recoger totalmente la condensación.

**Figura 2. Invernaderos multicapilla de tipo arco**



### 2.3. Invernaderos de vidrio

Los invernaderos con cubierta de vidrio (Figura 3) son las estructuras más habituales en las zonas frías del hemisferio norte. Se construyen normalmente en compartimentos de gran tamaño (p. ej. En Holanda la superficie promedio de un invernadero de cristal era de 1,5 ha en 2003) (Bunschoten y Pierik, 2003) para limitar el coste por unidad de área así como las pérdidas de calor a través de las paredes perimetrales. Normalmente constan solamente de ventilación cenital, que en algunos casos (p. ej. tipo *venlo*) son discontinuas o también de tipo continuo. La relación entre el área de ventilación y el área de invernadero cubierta es en muchos casos del 25 %, valor próximo a las recomendaciones de la ASABE (ASABE, 1999). El área ocupada por invernaderos de vidrio en los países del sur de Europa es pequeña, principalmente debido los elevados costes de inversión. Los invernaderos de vidrio ocupan menos de un 1 % de la superficie total de invernaderos en países como España. Si se decide construir invernaderos de vidrio en zonas de clima más cálido que en el Norte de Europa, debería prestarse especial atención a la mejora de la ventilación, siendo particularmente importante instalar ventanas laterales y ventanas cenitales continuas para incrementar el área de ventanas dada la necesidad de instalar mallas antiinsecto. Como se verá más adelante, la combinación de ventanas laterales y cenitales asegura mayores tasas de ventilación, tanto en condiciones de viento (Kacira *et al.*, 2004) y especialmente, con viento nulo o muy bajo con ventilación natural por efecto térmico (Baeza *et al.*, 2009). Además, sería interesante plantearse emplear cubierta de vidrio difuso, para mejorar la eficiencia en el uso de la luz por parte del cultivo, y evitar problemas de exceso de luz directa en las zonas de la planta en crecimiento activo durante las épocas de mayor insolación, así como el uso de sistemas de sombreado exterior o en su defecto, el blanqueo. En Holanda, con un pequeño porcentaje de días despejados, se han medido incrementos de cosecha de hasta un 10 % frente al vidrio normal (Hemming *et al.*, 2006).

**Figura 3. Invernaderos de vidrio tipo *venlo* (holandés)**



#### *2.4. Conclusiones sobre las estructuras de invernadero*

Mejorar la transmisión de luz invernal es una buena práctica agrícola muy importante en zonas mediterráneas. Para conseguir esto, los nuevos invernaderos deberían tener pendientes de 25-30°.

Los invernaderos locales de tipo artesanal, si están bien diseñados, son apropiados para zonas de clima suave. Su principal ventaja es el bajo coste de inversión; su principal desventaja es la falta de control climático (principalmente la deficiente ventilación). Los invernaderos de tipo industrial de cubierta plástica pueden modular las condiciones externas desfavorables, por tanto dotando de mayor seguridad y estabilidad al cultivo en invernadero. Sin embargo, el análisis coste-beneficio podría ser peor que el de invernaderos pasivos.

Los invernaderos de cristal son excelentes estructuras, pero son escasos en los países del sur de Europa principalmente debido a los elevados costes de inversión.

### **Referencias bibliográficas**

ASABE STANDARDS. (1999): «Heating, ventilating and cooling greenhouses»; ANSI/ASAE Standard EP406.3.

- BAEZA, E. J.; PEREZ-PARRA, J.; MONTERO, J. I.; BAILEY, B.; LOPEZ, J. C. y GAZQUEZ, J. C. (2009): «Analysis of the role of sidewall vents on buoyancy-driven natural ventilation in parral-type greenhouses with and without insect screens using computational fluid dynamics»; *Biosystems Engineering* 104(1); pp. 86-96.
- BUNSCHOTEN, B. y PIERIK C. (2003): «Kassenbouw neemt weer iets toe»; *CBS Webmagazine* (Centraal Bureau voor de Statistiek). Disponible en <http://www.cbs.nl/nl-NL/default.htm>.
- CAPMA (2013b): *Cartografía de invernaderos en el litoral de Andalucía Oriental. Campaña 2012*. España, Junta de Andalucía, Consejería de Agricultura Pesca y Medio Ambiente; p. 21.
- CASTILLA, N. y HERNÁNDEZ, J. (2005): «The plastic greenhouse industry of Spain»; *Crónica Horticulturae*, 45(3); pp. 15-20.
- CASTILLA, N. (2005): *Invernaderos de plástico: tecnología y manejo*. Madrid, ediciones Mundi-Prensa.
- EFSA (2009): «EFSA-PPR project»; *Data-collection of existing data on protected crop systems (greenhouses and crops grown under cover) in Southern European EU Member States*. Agricultural University of Athens, Ed. N. Sifrimis.
- HEMMING, S.; KEMPKE, F.; VAN DER BRAAK, N.; DUECK, T. y MARISSEN, N. (2006): «Greenhouse Cooling by NIR-reflection»; *Acta Horticulturae* (719); pp. 97-106.
- KACIRA, M.; SASE, S. y OKUSHIMA, L. (2004): «Optimisation of vent configuration by evaluating greenhouse and plant canopy ventilation rates under wind-induced ventilation»; *Transactions of the ASABE* 47(6); pp. 2059-2067.
- PÉREZ PARRA, J.; BAEZA, E.; MONTERO, J. I. y BAILEY, B. J. (2004): «Natural ventilation of Parral Greenhouses»; *Biosyst. Eng.* 87(3); pp. 355-366.



# Materiales de cubierta para invernadero en el área mediterránea

*Juan Carlos López Hernández*

Estación Experimental de Cajamar ‘Las Palmerillas’

## 1. Introducción

La utilización de láminas plásticas en la cubierta de los invernaderos junto a la crisis energética de los años 70 contribuyó al inicio del desplazamiento de los invernaderos desde el Norte de Europa a la región mediterránea.

Las ventajas climáticas de la región mediterránea para el cultivo en invernadero están relacionadas con la buena disponibilidad de luz en otoño e invierno, con la suavidad de las temperaturas y la estabilidad climática derivada de la proximidad del mar (Castilla y Hernández, 2005). En estas condiciones, las plantas se adaptan a unos niveles climáticos subóptimos, mientras que en los invernaderos del norte de Europa (zonas frías) se crean las condiciones climáticas óptimas que permite maximizar las producciones.

En el norte de Europa, los sistemas de cultivo en invernadero, principalmente con cubierta de cristal, se caracterizan por un elevado nivel tecnológico, muy equipado y costoso, resultando ser gran consumidor de energía. Por el contrario, en el área mediterránea el sistema agrícola, principalmente con cubierta de plástico, es de bajo nivel tecnológico, poco equipado, más barato y con un limitado consumo energético (Castilla, 2007).

Experiencias llevadas a cabo en el área mediterránea (Magán, 2009), en las que se compararon invernaderos de cristal frente a invernaderos de plástico mostraron producciones y calidades similares para cultivos de hortalizas. Ello sugiere que el uso de invernaderos de cristal no se justifica, para climas cálidos, dado que no mejoran la productividad frente al plástico y además necesitan una mayor inversión. Los invernaderos de cristal son sistemas desarrollados para zonas frías por lo que tienen una reducida ventilación. Ello hace que su implantación, sin ninguna adaptación, en áreas cálidas tenga dificultad para reducir la carga térmica.

En la elección del material de cubierta hay que tener en cuenta, además de sus propiedades ópticas y mecánicas, la climatología de la zona y localización del invernadero (Waaijenberg y Sonneveld, 2004). En general, en cuanto a propiedades ópticas, el material de cubierta de invernadero debe de transmitir el máximo de radiación solar (no debe de retener el polvo y este debe de eliminarse fácilmente por lavado) y el mínimo de radiación de onda larga (reduce pérdidas de calor durante la noche).

## 2. Materiales plásticos para cubierta de invernaderos

El material plástico para cubierta de invernaderos está compuesto, básicamente, por polímeros y aditivos. Las aplicaciones para cubierta de invernadero, habitualmente, tienen espesores comprendidos entre 80 y 220 micrómetros ( $\mu\text{m}$ ) y anchos de hasta 20 metros, presentándose hoy día los *films* como monocapas o tricapas (Cepla, 2006). Las cubiertas de invernadero han ido evolucionando desde su lanzamiento en los años 50. Actualmente el tiempo de vida alcanza hasta 45 meses (frente a los 9 de hace unas décadas), dependiendo de los fotoestabilizantes utilizados, la localización geográfica, el uso de pesticidas, etc.

### 2.1. Polímeros

Los polímeros son macromoléculas cuyo elevado tamaño se ha conseguido por la unión de moléculas más pequeñas, llamadas monómeros, a modo de eslabones de una cadena. Los polímeros más habituales son el polietileno de baja densidad (LDPE), y los copolímeros de etileno y acetato de vinilo (EVA) y acrilato de butilo (EBA) que representan más del 80 % del mercado mundial, el cual incluye también PVC en Japón y polietileno lineal de baja densidad (LLDPE) en el resto del mundo. Una de las características comunes a todos los *films* plásticos es su baja densidad respecto a materiales tradicionales como el vidrio.

La densidad de los plásticos es una ventaja porque facilita el manejo, la colocación, el transporte, que las estructuras sean menos rígidas, etc. Por ejemplo, 1  $\text{m}^2$  de *film* de LDPE con un espesor de 200  $\mu\text{m}$  (800 galgas) pesa alrededor de 184 g, un *film* de las mismas dimensiones de PVC pesa en torno a 260 g, mientras que una placa de vidrio de 1  $\text{m}^2$  y 4 mm de espesor pesa 8 kg, lo que viene a confirmar que los requisitos de una estructura que soporte vidrio deben ser mayores que los de otra que soporte un material plástico.

## 2.2. Aditivos

Son sustancias que se agregan a otras para darles cualidades de las que carecen o para mejorar las que poseen. En el caso de los plásticos, se consideran aditivos los materiales que van dispersos físicamente en una matriz polimérica sin afectar a su estructura molecular y que, añadidas en pequeñas cantidades durante la fabricación del plástico agrícola, mejoran su rendimiento permitiendo alcanzar mayor duración y prestaciones.

Desde que se fabricaron y comercializaron los primeros plásticos se comprobó que era necesario añadir aditivos a la matriz polimérica para que se pudiera procesar y para mejorar las propiedades del producto obtenido. Por tanto, su empleo no es algo opcional: son ingredientes esenciales que pueden marcar la diferencia entre el éxito y el fracaso en el desarrollo de la tecnología de polímeros. Según ha ido creciendo el campo de aplicación de los plásticos también lo ha hecho el mundo de los aditivos.

## 3. Propiedades fotoselectivas de las cubiertas de invernadero

### 3.1. Estabilización frente a la luz ultravioleta

La radiación solar ultravioleta (UV) es la principal responsable de la degradación de los *films* agrícolas durante su exposición a la intemperie, ya que engloba las longitudes de onda con mayor contenido energético. Los polímeros son susceptibles de sufrir procesos de degradación fotooxidativa. El resultado final es la degradación del *film* y la pérdida de sus propiedades físicas y mecánicas.

Los aditivos que se emplean, según sea la etapa y la forma en la que ejercen su acción, actúan mediante absorción de radiación UV, desactivación de los estados excitados o captación de radicales libres.

**Figura 1. Invernadero con *film* degradado**



### *3.2. Plásticos claros y difusos*

En áreas con alta radiación y escasa nubosidad, la radiación recibida dentro de invernadero durante los períodos cálidos puede causar problemas en los cultivos por exceso de temperatura, llegando a producir quemaduras en los mismos. Para evitar esta situación se han desarrollado plásticos que aumentan la proporción de radiación difusa dentro de invernadero. Los *films* con alta difusión de luz, en los climas de alta radiación solar, evitan que las plantas se quemen y reducen las sombras, por lo que son los más recomendados en estos casos. Los *films* claros son los más apropiados para lugares de menor radiación solar, pues la mayor parte de luz que transmiten es directa.

El incremento de la radiación difusa en invernadero contribuye a una mayor uniformidad y aumento de la producción, debido a una mayor eficiencia (Castilla, 2007). El amplio uso de materiales de cubierta con gran poder difusor en el área mediterránea reduce la entrada de radiación solar directa al

invernadero, aumentando la radiación difusa (Cabrera *et al.*, 2009). Cultivos como las hortalizas con una altura de planta grande utilizan mejor la radiación difusa que la radiación directa, dado que la radiación difusa penetra mejor en los planos medios del cultivo resultando en una mejor distribución horizontal de la radiación (Hemming *et al.*, 2008).

**Figura 2. Material plástico para cubierta de invernadero claro (izquierda) & difuso (derecha)**



### 3.3. Plásticos térmicos

La atmósfera absorbe un 25 % de la radiación solar incidente. Además, es capaz de absorber la mayor parte de la energía emitida por la superficie terrestre, debido a que los gases que contiene (vapor de agua, dióxido de carbono, ozono, etc.) poseen bandas de absorción en el infrarrojo lejano (IR). Sin embargo, hay algunas zonas donde no hay absorción y esa energía se escapa hacia el espacio. Son las llamadas ventanas atmosféricas, siendo la más importante la que se sitúa entre las absorciones fundamentales del vapor de agua y del dióxido de carbono (8 y 13  $\mu\text{m}$ ) ya que es la más grande y coincide con el máximo de emisión comentado anteriormente.

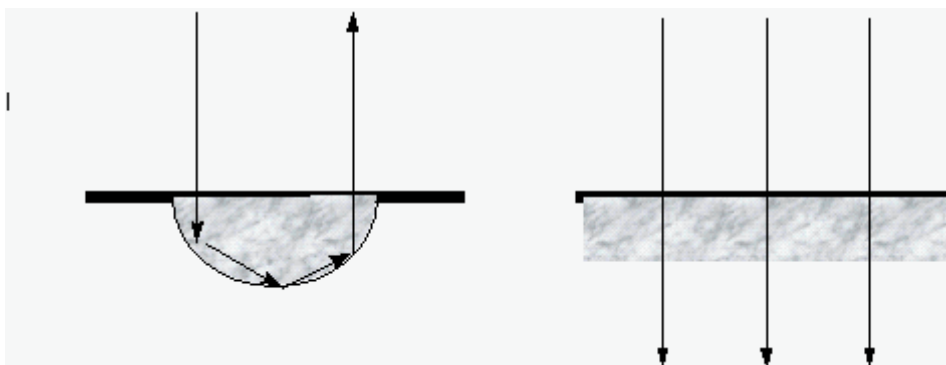
Se dice que un *film* es térmico cuando deja pasar menos del 25 % de la radiación calorífica entre 7 y 13  $\mu\text{m}$ .

El polietileno de baja densidad, que es el polímero más usado en *films* agrícolas, es muy transparente a esas longitudes de onda. Las soluciones adoptadas por la industria para dotarlo de mayor opacidad al IR han sido dos, fundamentalmente: utilización de aditivos (preferentemente de tipo mineral: sílice, silicatos, carbonatos, etc.) y el empleo de copolímeros EVA mediante mezcla o coextrusión, ya que posee bandas de absorción IR en el intervalo de longitudes de onda de interés.

### 3.4. Plásticos antigoteo

La formación de la condensación de vapor de agua en la superficie de los plásticos agrícolas se traducen en una reducción de la transmisión de luz y en la formación de pequeñas gotas de agua en los techos del invernadero. El consecuente goteo continuo dentro del invernadero puede provocar enfermedades en las plantas, virosis o quemarlas como resultado del efecto lente de la gota de agua. Los aditivos con efecto anti-goteo modifican la tensión superficial del *film* para formar una lámina uniforme de agua que, mediante una inclinación adecuada del material, puede eliminar las gotas de la superficie aumentando la transmisividad del material y reduciendo el riesgo de quemaduras (efecto lupa) y enfermedades (hongos).

**Figura 3. Efecto antigoteo sobre la condensación del plástico.**  
Material no antigoteo (izda.); material antigoteo (dcha.)



Existen diferentes métodos para conseguir que el agua condense en forma de película continua sobre la superficie de un *film* (tratamiento superficial exterior, oxidación de la superficie del polímero, injerto en el polímero, etc.),

pero el que mayor aplicación industrial tiene en el campo de *films* agrícolas se basa en la incorporación de un aditivo dentro del polietileno (o copolímero EVA) al fabricar el compuesto. Dicho aditivo va migrando progresivamente a la superficie, de forma que la hace más polar y aumenta su tensión superficial.

La presencia de estos aditivos en el plástico dura poco tiempo, por lo que las investigaciones actuales tratan de resolver estos inconvenientes. Por lo que respecta a la duración, una de las soluciones que parece prometedora, consiste en la fabricación de *films* tricapa y el empleo de la capa central como reservorio de aditivo antigoteo para reponer el que se va perdiendo en la capa dirigida hacia el interior del invernadero.

### 3.5. Plásticos antitérmicos

De los nuevos desarrollos más prometedores en plástico están aquellos que incorporan aditivos para bloquear la radiación NIR. Solo la mitad de energía que entra en el invernadero procedente de la radiación solar está en el rango de la radiación útil para la fotosíntesis de las plantas (PAR, Photosynthetically Active Radiation). El resto de energía está en el rango de la radiación infrarroja cercana (NIR) que calienta el invernadero, el cultivo y contribuye a la transpiración, los cuales a veces no son siempre deseables (Montero *et al.*, 2008).

En algunas áreas geográficas es recomendable la reducción de la transmisión de energía térmica solar no luminosa (NIR), que es la comprendida entre 760 y 2.500 nm aproximadamente. Es muy frecuente evitar el calentamiento excesivo empleando mallas de sombreo en el interior del invernadero o mediante el blanqueo del *film* por aplicación de un producto blanqueante en la cara exterior de la cubierta. Ambas soluciones tienen un efecto negativo: además de reducir la transmisión NIR también disminuyen la PAR (400-700 nm) que debería mantenerse siempre lo más alta posible.

Entre las diferentes alternativas que se han estudiado solo existe una en la actualidad que sea aplicable a cubiertas flexibles de poliolefinas. Está basada en la inclusión de pigmentos de interferencia como aditivos en las formulaciones de los *films*, los cuales provocan una reflexión de la radiación NIR. Hoy día los aditivos que existen en el mercado además de reducir la radiación NIR también reducen parcialmente la radiación PAR, por lo que se debe de evaluar en cada caso su aplicación.

### 3.6. Plásticos antiplagas

Los dos insectos que mayores problemas provocan en los cultivos de invernadero son *Bemisia tabaci* (mosca blanca) y *Frankliniella occidentalis* (trips), fundamentalmente por ser transmisores de virosis a los cultivos. La movilidad de estos insectos está condicionada a la presencia de radiación ultravioleta procedente del Sol, de manera que reduciéndola, mediante plásticos que absorban esa franja, se limita la presencia de los insectos.

Sin embargo la ausencia de la radiación UV también limita la movilidad de los insectos polinizadores como *Apis mellifera* (abeja) y *Bombus terrestris* (abejorro). Experiencias en el entorno mediterráneo (Corpus *et al.*, 2009) muestran que la polinización con abejorro no se ve afectada bajo este tipo de plástico, siendo más sensible la abeja. Por ello se recomienda colocar las colmenas pronto para que los polinizadores se acostumbren al entorno, aumentar el número de colmenas por superficie o colocar las colmenas próximas a las ventanas del invernadero.

## Referencias bibliográficas

- CABRERA, F. J.; BAILLE, A.; LOPEZ, J. C.; GONZALEZ-REAL, M. M. y PEREZ-PARRA, J. (2009): «Effects of cover diffuse properties on the components of greenhouse solar radiation»; *Biosystems Engineering* (103); pp. 344-356.
- CASTILLA, N. y HERNÁNDEZ, J. (2005): «The plastic greenhouse industry of Spain»; *Chronica Horticulturae* 45(3); pp. 15-20.
- CASTILLA, N. y HERNÁNDEZ, J. (2007): «Greenhouse technological packages for high-quality crop production»; *Acta Horticulturae* (761); pp. 285-297.
- CEPLA (2006): *Plásticos para la agricultura. Manual de aplicaciones y usos*. Almería; pp. 144.
- HEMMING, S.; DUECK, T.; JANSE, J. y VAN NOORT, F. (2008): «The effect of diffuse light on crops»; *Acta Horticulturae* (801); pp. 1293-1300.
- MAGAN, J. J.; MARIN, S.; LOPEZ, J. C.; PEREZ-PARRA, J.; BAEZA, E. y GAZQUEZ, J. C. (2009): «Performance of a cucumber crop under a plastic greenhouse and a glasshouse in the Spanish southeast. ISHS International Symposium GreenSys-2009: High Technology for Greenhouse System Management»; *Acta Horticulturae* (in press). Quebec, Canada.

- MONTERO, J. I.; STANGHELLINI, C. y CASTILLA, N. (2008): «Greenhouse Technology for Sustainable Production in Mild Winter Climate Areas: Trends and Needs. ISHS Intern. Symposium 'Strategies towards Sustainability of Protected Cultivation in Mild Winter Climates'»; *Acta Horticulturae* (in print). Antalya, Turkey.
- PÉREZ, C.; LÓPEZ, J. C.; GÁZQUEZ, J. C.; MARÍN, A. y BERMÚDEZ, M. S. (2009). «Experiencias con plásticos antiplagas en cultivos de tomate y sandía»; *Acta de horticultura* (54). VI Congreso Ibérico de Ciencia s Hortícolas (SECH), Logroño; pp. 204-205
- WAAIJENBERG, D. y SONNEVELD, P. J. (2004): «Greenhouse design for the future with a cladding material combining high insulation capacity with high light transmittance»; *Acta Horticulturae* (633); pp. 137-143.



# Ventilación y refrigeración de invernaderos

*Juan Carlos López Hernández<sup>(a)</sup>, Jerónimo Pérez Parra<sup>(a)</sup>,  
Juan I. Montero Camacho<sup>(b)</sup>, Esteban Baeza Romero<sup>(a)</sup>  
y M. Asunción Antón Vallejo<sup>(b)</sup>*

<sup>a</sup>Estación Experimental de Cajamar 'Las Palmerillas'

y <sup>b</sup>Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries

## 1. Introducción

Con el desarrollo de la horticultura protegida en climas cálidos ha surgido la necesidad de reducir la temperatura en los invernaderos, en beneficio de los cultivos y de las condiciones de trabajo de los agricultores. Desde hace años, pero muy especialmente durante la última década, se han llevado a cabo distintos experimentos orientados a refrigerar el invernadero durante las horas de más calor. A modo de resumen puede decirse que hay cuatro factores principales que permiten limitar las temperaturas máximas (Montero *et al.*, 1998):

- La reducción de la radiación solar que llega al cultivo (blanqueado, sombreo, etc.).
- La ventilación.
- La refrigeración por evaporación de agua (nebulización, *cooling system*, etc.).
- La evapotranspiración del cultivo, refrigeración por evaporación producida por las plantas.

Estos cuatro factores están ligados entre sí, de manera que si uno de ellos cambia también cambian los demás. Por ejemplo, al sombrear se reduce la temperatura del aire del invernadero, pero también se reduce, en la mayoría de los casos, la tasa de transpiración. Un efecto frena al otro, y por ese motivo es necesario estudiar los métodos de refrigeración en su conjunto. Del estudio combinado de las distintas maneras de refrigerar se pueden obtener las siguientes conclusiones generales.

El sombreado tiene más influencia sobre el clima del invernadero cuando la ventilación es escasa. Por ejemplo si la tasa de renovación es 10 volúmenes por hora (invernaderos parrales con pocas ventanas) una malla blanca descende la temperatura en 3 o 4 °C, mientras que si es 60 el descenso térmico es de apenas 1°C.

El sombreado es más eficaz en la reducción de temperatura de los tejidos que transpiran muy poco (frutos y flores) que en los de alta transpiración (hojas).

En los invernaderos sin plantas o con el cultivo recién trasplantado, el sombreado reduce en gran manera la temperatura (más de 10 °C en muchos casos). Sin embargo cuando hay otra fuente la refrigeración, ya sea la transpiración del cultivo, la evaporación de agua o el aumento de la tasa de ventilación, el sombreado pierde importancia relativa y tiene menos efecto sobre el clima interno.

Durante el tiempo de uso de los equipos de evaporación el invernadero debe estar ventilado. Es un error cerrar las ventanas cuando el *Fog* u otros equipos similares están en funcionamiento. Por otra parte, si la ventilación es alta, el equipo de humectación debe tener capacidad suficiente para añadir el vapor de agua que se escapa por las ventanas. La cifra de 20 a 30 renovaciones horarias parece un buen término medio, y es una tasa de ventilación que puede alcanzarse en la mayoría de invernaderos con ventanas cenitales incluso en días de poco viento.

En las primeras fases de desarrollo del cultivo (baja tasa de transpiración por unidad de superficie), los equipos de refrigeración por evaporación son extraordinariamente eficaces incluso en climas húmedos y logran descensos térmicos del orden de 15 y 20 °C en invernaderos con mala ventilación.

En este repaso a los métodos de refrigeración consideramos conveniente hacer una revisión de los últimos avances en la ventilación natural y en el uso de los equipos de aporte de humedad.

## 2. Ventilación natural

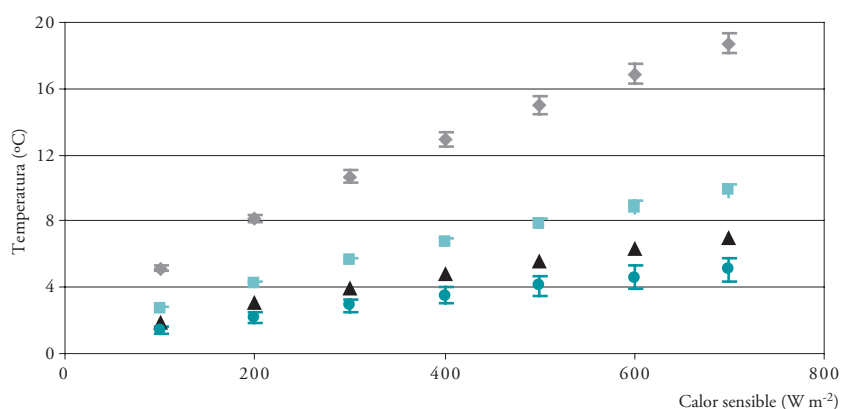
### 2.1. *Condiciones de viento en calma*

Las condiciones más desfavorables para la ventilación natural se producen cuando el viento está en calma absoluta. Estas condiciones de calma total rara vez se producen en la realidad durante el tiempo necesario para tomar las

medidas experimentales. Por ello se suele recurrir a estudios de laboratorio que ayudan a analizar el comportamiento del invernadero con viento en calma.

La Figura 1 muestra el incremento de temperatura respecto al exterior de cuatro invernaderos distintos en función de la cantidad de calor que recibe el aire del invernadero (Montero *et al.*, 2001). Por ejemplo, en un día soleado de verano la radiación solar dentro del invernadero puede ser cercana a  $700 \text{ W/m}^2$ . Si el invernadero tiene un cultivo bien desarrollado, gran parte de esta radiación (hasta un 70 %) la usa el cultivo en evaporar agua. En este caso el calor neto recibido por el aire del invernadero sería de  $210 \text{ W/m}^2$  aproximadamente. Si el invernadero tiene el cultivo recién trasplantado la cantidad de calor cedida al aire del invernadero se aproximaría a los  $700 \text{ W/m}^2$ . Según la figura, el invernadero 1, que tiene ventanas laterales del 16 % respecto a la superficie del suelo, presenta un salto térmico excesivo. Las condiciones térmicas son mucho mejores cuando las ventanas laterales son del 33 % de la superficie del suelo. La Figura 1 muestra también la importancia de combinar la ventilación lateral y la cenital: con el 10 % de ventanas laterales y el 10 % de ventanas cenitales la ventilación parece ser suficiente (invernadero 3). Estos porcentajes mínimos recomendados del tamaño de las ventanas deben aumentarse cuando se instalen mallas antiinsectos en las ventanas, como se discutirá a continuación.

**Figura 1. Salto Térmico en función del calor sensible cedido al aire del invernadero**



▲ Invernadero con el 16 % de las ventanas laterales, ■ invernadero con el 33 % de ventanas laterales, ○ invernadero con 8 % de ventanas laterales y 10 % de ventanas cenitales, λ Invernadero con 16 % de ventanas laterales y 10 % de ventanas cenitales.

Fuente: Montero *et al.* (2001).

## 2.2. Ventilación por efecto del viento

### 2.2.1. Experimentos de visualización

Además de las medidas directas en campo de la tasa de ventilación usando un gas trazador y registrando la caída de la concentración del gas en el tiempo, se pueden hacer experimentos de visualización del flujo que ayudan a comprender cómo se mueve el aire en el invernadero.

La Figura 2 es un ejemplo que muestra el campo de velocidades del aire en un invernadero túnel (Montero *et al.*, 2001). Una de las conclusiones principales que se puede obtener de dicha figura es la importancia del diseño de la ventana cenital. Por ejemplo, en la Figura 2 puede observarse cómo el aire pasa de un lado a otro de la ventana cenital de «sombbrero» sin incidir apenas en la circulación del aire en el invernadero. En cambio, cuando la ventana cenital permite capturar el viento, la tasa de ventilación aumenta considerablemente. Esta observación parece indicar que las ventanas con techo abatible (aquellas que disponen de un alerón abatible que sirve para abrir o cerrar la ventana) son más eficaces que las que enrollan el plástico en el mismo plano del techo del invernadero, puesto que las primeras permiten forzar al viento a que entre en el invernadero mientras que en las segundas el flujo de aire externo puede pasar de largo por la apertura de la ventana, de la misma manera que ocurre en la cenital. Las medidas en campo han demostrado que esta hipótesis es válida, como se comentará más adelante.

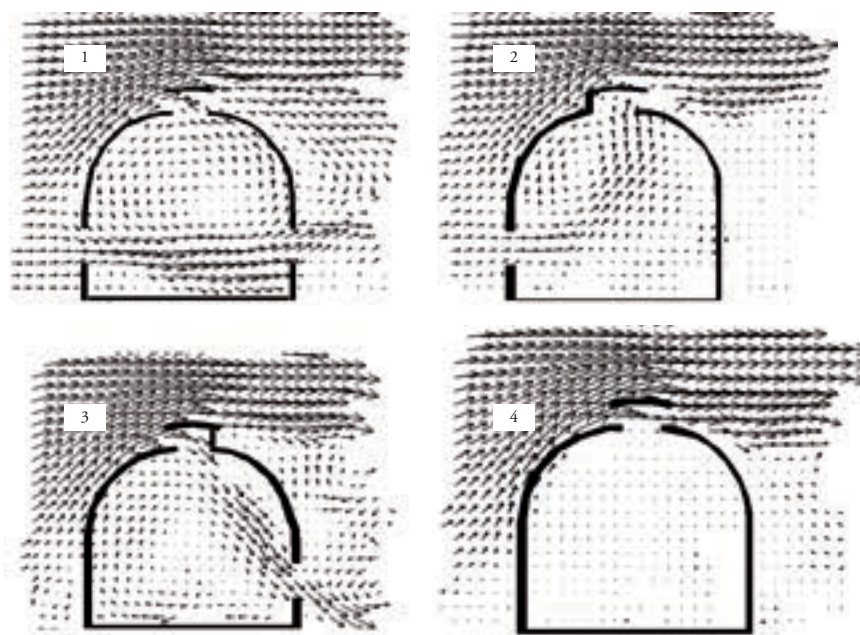
Otros experimentos de visualización en invernaderos multicapilla comparan las ventanas cenitales abatibles a barlovento y a sotavento. Aparentemente, las ventanas cenitales abiertas de cara al viento producen una tasa de ventilación mayor que la de las ventanas a sotavento. Por el contrario, la velocidad del aire dentro del invernadero es más uniforme en la ventilación a sotavento que a barlovento puesto que se evitan las corrientes directas de aire sobre los cultivos.

La ventilación del invernadero parral:

El interés de estudiar la ventilación natural en el invernadero parral deriva de su importante presencia, especialmente en Almería donde el 98 % de los invernaderos se basan en esta estructura. Entre las estructuras que se engloban bajo la denominación de invernadero parral, el más construido actualmente es el llamado de raspa y amagado o multicapilla. Los estudios que se están realizando para este tipo de invernadero en la Estación Experimental de Cajamar 'Las Palmerillas', dentro de un convenio establecido por Cajamar y el IRTA

de Cataluña, ilustran la forma en que ventilan estos invernaderos y permiten responder a algunas de las preguntas que surgen con más frecuencia en relación con la ventilación natural. Los resultados obtenidos indican lo siguiente:

**Figura 2. Campo de velocidades en cuatro invernaderos túnel**



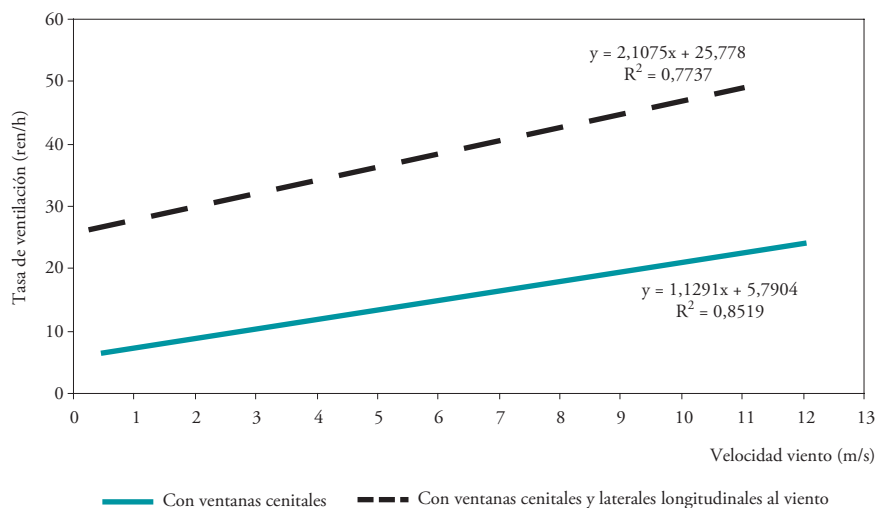
1) Ventanas laterales y cenitales, 2) Lateral a barlovento y cenital a sotavento, 3) Cenital a barlovento y lateral a sotavento 4) Ventanas cenitales.

Fuente: Montero *et al.* (2001).

Cuando se instalan ventanas del tipo enrollable, la disposición combinada de ventanas cenitales y laterales mejora la tasa de ventilación, con respecto a la colocación solo de ventanas cenitales hasta un 50 % para velocidades bajas de viento (2 m/s) tanto cuando en las ventanas se colocan mallas antiinsectos como sin ellas (Figuras 3 y 4).

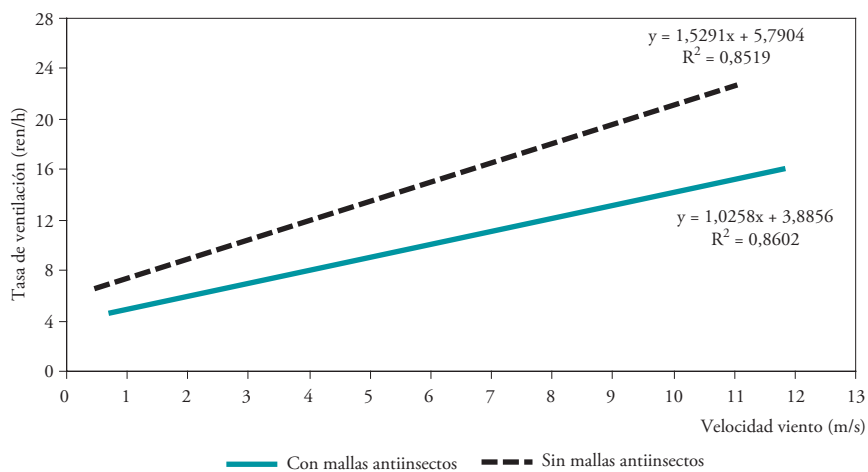
La colocación de mallas anti insectos, práctica frecuente en Almería, produce una reducción en la tasa de ventilación del orden del 35 % en el caso de las mallas antipulgón. Esto ocurre en invernaderos con ventanas cenitales solo y con ventanas cenitales y laterales combinadas (Figura 4).

**Figura 3. Comparación de la tasa de ventilación a barlovento de los dos invernaderos**



Fuente: Montero *et al.* (2001).

**Figura 4. Tasa de ventilación en función de la velocidad del viento de dos invernaderos con ventanas cenitales**

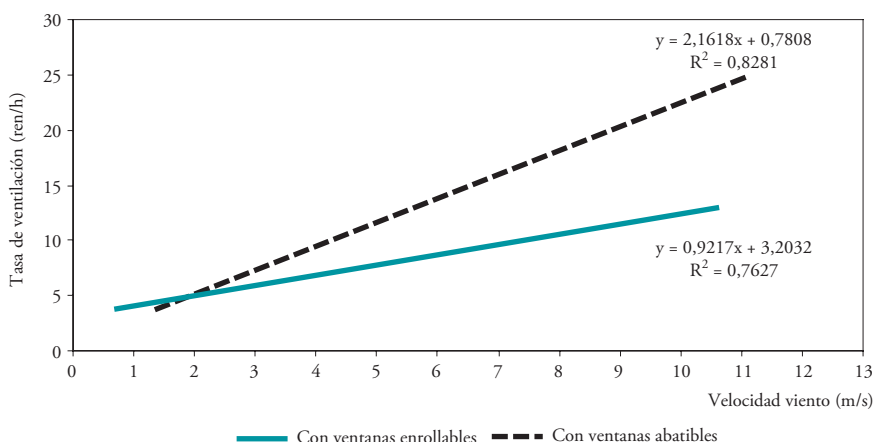


Fuente: Montero *et al.* (2001).

El tipo de ventana también afecta a la tasa de ventilación: las ventanas abatibles incrementan la tasa de ventilación hasta prácticamente doblar la de las ventanas enrollables (Figura 5).

Estos son los primeros resultados de una investigación más amplia que continúa en curso.

**Figura 5. Tasa de ventilación en función de la velocidad del viento**



Fuente: Montero *et al.* (2001).

### 2.3. Refrigeración por evaporación de agua

Las tendencias en el uso de esta tecnología se pueden resumir así:

1. El tipo de boquilla más utilizado es el de agua a alta presión. En algunos casos se usan equipos de agua a baja presión muy económicos, lo cual puede ser útil en Almería durante las primeras fases de los cultivos transplantados en verano, pero la calidad de la nebulización y la eficacia de la evaporación es muy pobre.
2. El aporte de humedad al ambiente puede ser un método eficaz para aliviar el efecto negativo del agua salina en algunos cultivos. Por ejemplo Li (2000) obtuvo pérdidas del 5,1 % por cada dS/m en exceso de 2 dS/m en el rendimiento comercial de tomate. El mismo cultivo con aporte de humedad al ambiente tuvo unas pérdidas menores asociadas a la salinidad (del 3,4 % por cada dS/m).
3. Los controladores climáticos actuales deben mejorarse para que el uso de los equipos de aporte de humedad sea más eficaz. Generalmente

no consideran el déficit de presión de vapor (DPV) en los valores de consigna a mantener, siendo el DPV un indicador de primera importancia en las necesidades de riego o en la respuesta de la planta al ambiente. A veces los controladores tampoco combinan bien la apertura de ventanas y el aporte de humedad en los periodos más cálidos. Pensamos que la mejora del control de los humectadores es una línea de trabajo para los invernaderos de zonas cálidas como Almería.

## Referencias bibliográficas

- LI (2000): *Analysis of greenhouse tomato production in relation to salinity and shoot environment*. Tesis Doctoral. Universidad de Wageningen. p. 96.
- MONTERO, J. I.; ANTÓN, A. y MUÑOZ, P. (1998): «Refrigeración de invernaderos»; *Tecnología de Invernaderos II*. Curso Superior de Especialización. pp. 313, 338.
- MONTERO, J. I.; ANTÓN, A. KAMARUDDIN, R. y BAILEY, B. J. (2001a). «Analysis of thermally driven ventilation in tunnel greenhouses using small-scale models»; *Journal of Agricultural Engineering Research* (in press).
- MONTERO, J. I.; HUNT, G.; KAMARUDDIN, R.; ANTÓN, A. y BAILEY, B. J. (2001b). «Effect of ventilator configuration on wind driven ventilation in a crop protection structure for the tropics»; *Journal of Agricultural Engineering Research*.

# Climatización de invernaderos

*Juan Carlos López Hernández*

Estación Experimental de Cajamar 'Las Palmerillas'

## 1. Introducción

Las condiciones de crecimiento dentro de invernadero no solamente tienen que ser entendidas de una forma cualitativa, sino además de manera cuantitativa para determinar su impacto sobre la producción. En este sentido el clima del invernadero puede ser cuantificado en relación a las condiciones externas y a las propiedades físicas del invernadero y su equipamiento (Bot, 1995).

El crecimiento y desarrollo de los cultivos, está influenciado por el clima, donde los procesos de fotosíntesis, respiración, división celular, expansión celular, toma de nutrientes y agua, se ven modificados, principalmente por la temperatura, déficit de presión de vapor, luz y CO<sub>2</sub>. El metabolismo de las plantas y la tasa de las reacciones metabólicas se ven afectados por la temperatura, llegando a duplicarse la tasa de crecimiento para muchos cultivos expuestos a frío, al incrementar la temperatura 10 °C (Day y Bailey, 1998). Tanto temperaturas extremas bajas como altas, afectan al buen desarrollo de los cultivos (Hanan *et al.*, 1988), produciendo la desnaturalización de enzimas y otras proteínas.

Cuando la temperatura desciende por debajo de 10-12 °C, las especies termófilas (entre las que podemos considerar la mayoría de las hortalizas que se cultivan bajo protección en el litoral mediterráneo) presentan las siguientes alteraciones (Lorenzo, P.):

- Reducción del crecimiento.
- Disminución de la tasa de asimilación neta.
- Depresión de la respiración.
- Reducción del transporte y distribución de asimilados.
- Disminución de la absorción de agua y sales.

- Cambios anatómicos y morfológicos.
- Pérdida de fertilidad.
- Envejecimiento precoz del tejido fotosintético por necrosis celular.

Los niveles de temperatura que maximizan la producción se sitúan entre 16-20 °C para el período nocturno y 22-30 °C para el diurno. Sin embargo, normalmente divergen del óptimo económico debido a los elevados consumos de energía que ellos suponen, haciéndose necesario gestionar el aporte de calor mediante estrategias de clima, formación cultural de la planta y mercados de comercialización. Las estrategias de clima, habitualmente implican: utilizar pantallas de ahorro de energía, condicionar el nivel térmico a las distintas fases fisiológicas del cultivo, período diurno-nocturno, saltos térmicos, etc.

La dependencia mostrada por la respuesta fisiológica de muchos cultivos hacia la acumulación de grados-día (integral térmica) permite programarlos en cuanto a fechas de recolección y producción. Un mayor control de la temperatura del invernadero va a determinar además de un aumento de la producción, un aumento de la calidad del fruto.

## 2. Necesidades energéticas

El aporte de calor necesario para mantener una temperatura de consigna dentro del invernadero, depende básicamente de:

- Material de cubierta,
- sistema de calor, y
- condiciones externas: temperatura, viento, etc.

De forma simplificada podemos determinar las necesidades energéticas a partir del coeficiente global de transmisión de calor 'U', que es característico de cada tipo de material de cubierta (Tabla 1).

**Tabla 1. Coeficiente global de transmisión de calor 'U' para diferentes materiales de cubierta**

| Material de cubierta | U (W m <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> ) |
|----------------------|----------------------------------------|
| Cristal              | 6,0-8,8                                |
| Doble cristal        | 4,2-5,2                                |
| Doble policarbonato  | 4,8                                    |
| Polietileno          | 6,0-7,8                                |
| Doble polietileno    | 4,2-5,5                                |

Así, la energía necesaria Q(w) para mantener un salto térmico es:

$$Q = A U (T_i - T_o)$$

A: superficie desarrollada del invernadero.

U: coeficiente global de transmisión de calor.

T<sub>i</sub>: temperatura del invernadero.

T<sub>o</sub>: temperatura exterior.

### 3. Sistemas de calefacción

Según utilicen una o varias de las formas en las que el calor se puede transferir (convección, conducción y radiación), podemos clasificar los sistemas como:

#### 3.1. Sistemas de calefacción por convección

Son sistemas en los que el elemento conductor del calor es el aire. Debido a su poca inercia, proporcionan un aumento rápido de la temperatura del aire, enfriándose de igual forma al dejar de actuar. Generan importantes gradientes térmicos y pérdidas de calor al ir localizados, normalmente, sobre el cultivo.

Entre los sistemas convectivos: aerotermos, generadores de aire caliente de combustión indirecta y generadores de aire caliente de combustión directa; los dos últimos son los más utilizados.

Generadores de aire caliente de combustión indirecta: mediante un cambiador de calor, se separan los gases de combustión expulsándolos al exterior, introduciendo únicamente aire caliente al invernadero. Dado que parte del calor es expulsado con los gases de combustión, el rendimiento de estas máquinas suele estar entre el 80-90 %.

Generadores de aire caliente de combustión directa: tanto el aire caliente como los gases de combustión son incorporados al invernadero. El combustible a utilizar debe de contener el menor número de elementos tóxicos, siendo el propano y el gas natural los más recomendados.

Es importante controlar los niveles de los gases de combustión para evitar problemas a personas y plantas. El rendimiento de la máquina se considera del 100 % al introducir también el calor que acompaña a los gases de combustión.

**Figura 1. Distribución del calor mediante mangas perforadas de polietileno para un sistema de combustión indirecto**



**Figura 2. Sistemas con combustión directa (cañón)**



### *3.2. Sistemas de calefacción por conducción:*

Estos sistemas están diseñados para proporcionar una temperatura adecuada en la zona radicular. Desde un punto de vista físico, uno de los objetivos de la calefacción del suelo es utilizar, indirectamente, la superficie de intercambio con el aire que ofrece el suelo del invernadero, siendo esta superior a la de los sistemas de calefacción aéreos (Feuilloley y Baille, 1992).

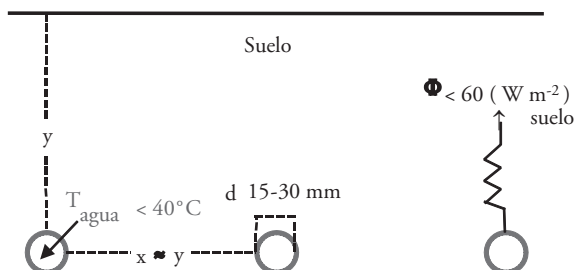
La dificultad de incorporar al suelo los intercambiadores y la limitación que provocan a las labores del suelo, redujo su expansión como sistema de calor. Sin embargo, la incorporación de los sustratos como medio de cultivo, facilitó la localización de los cambiadores de calor, bajo los sustratos.

**Figura 3. Sistemas con combustión directa (cañón)**

Calefacción enterrada en el suelo

Es necesario definir:

- El espesor de la capa de suelo que se desea calentar.
- La profundidad a la que tienen que enterrarse los tubos.
- La distancia entre los tubos.



### 3.3. Sistemas de calefacción por convección y radiación

La transferencia de calor se realiza a través de tuberías, aéreas o dispuestas sobre el medio de cultivo, por donde circula agua caliente, pudiendo trabajar a alta (hasta 90 °C) o baja temperatura (entre 30-50 °C) en función del material utilizado (metal o plástico).

**Figura 4. Sistemas con combustión directa (cañón)**



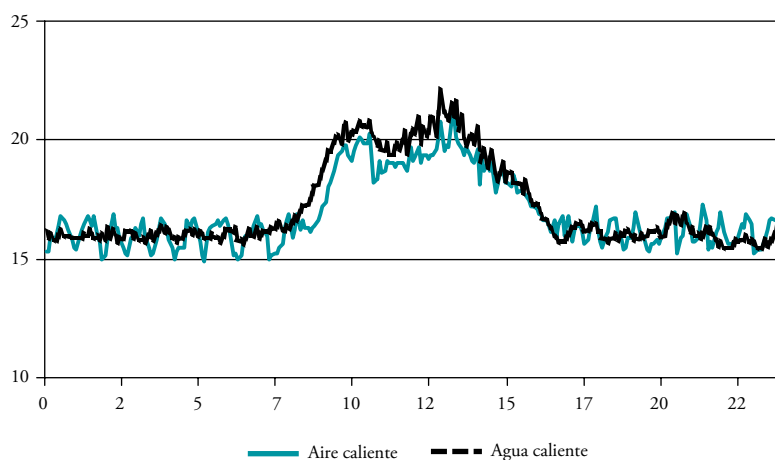
### 3.4. Sistema por agua caliente en tubería de hierro

Estos sistemas modifican la temperatura del aire, al calentarse por convección al contacto con los tubos y la de los objetos (suelo, planta, cubierta del invernadero, etc.) que se encuentran a su alrededor por intercambio radiativo. La distribución del calor es más uniforme que en los sistemas por aire, al situar las tuberías cerca del cultivo y mantener unos gradientes térmicos bajos.

Los sistemas de calefacción por agua caliente permiten distribuir el calor de forma uniforme, siendo más eficientes que los sistemas por aire. No obstante, mediante tuberías perforadas, que aproximan el calor a la planta, los sistemas de calefacción por aire de combustión indirecta han mostrado una eficiencia similar a los sistemas por agua caliente a baja temperatura (Lorenzo *et al.*).

La mayor inercia de los sistemas de agua frente a los de aire (Gráfico 1), permite un mejor control del clima siendo una ventaja, salvo en el caso de una parada del sistema, donde al enfriarse, tardará más en recuperar la temperatura de consigna.

**Gráfico 1. Evolución de la temperatura del aire (2 m) para dos sistemas de calor: aire y agua. En °C**



Fuente: Estación Experimental de Cajamar 'Las Palmerillas'.

Stanhill (1981) contabilizó todas las entradas al invernadero (fertilizantes, agua, plantas, calefacción, CO<sub>2</sub>, etc.) en unidades de energía, determinando que la necesidades de los invernaderos con calefacción en Inglaterra superaban en

40 veces a las de los invernaderos sin calefacción en Israel, correspondiendo a la calefacción el 80 % del total de la energía consumida. De ahí la importancia de determinar localmente las necesidades energéticas derivadas de la calefacción.

Ensayos realizados a nivel local con distintos sistemas de calefacción y diferentes niveles térmicos (Tablas 2 y 3) muestran la variabilidad entre campañas con respecto a los consumos de combustible. Para niveles bajos de temperatura (10-12 °C) los consumos de combustible se situaron entre 1,5-2,5 kg m<sup>-2</sup> de propano, llegando a superar los 10 kg m<sup>-2</sup> cuando se actuó a niveles altos (16-18 °C). Las diferencias existentes entre ambas campañas se deben al régimen de frío más severo de la campaña 98-99.

**Tabla 2. Gasto (kg m<sup>-2</sup>) de combustible (propano) para dos sistemas de calefacción y dos campañas 97-98 y 98-99. Temperatura mínima día-noche de control establecida durante el desarrollo de los cultivos de pepino (germinación: 22/20; inicio fructificación: 18/16; recolección: 16/14)**

| Campaña | Sistema de calefacción                     |                       |
|---------|--------------------------------------------|-----------------------|
|         | Generadores de aire (Combustión indirecta) | Tubería agua caliente |
| 97-98   | 5,6                                        | 4,7                   |
| 98-99   | 9,9                                        | 10,8                  |

\* Para extrapolar el consumo de combustible a un invernadero de una hectárea multiplicar por 0,8.

Fuente: Lorenzo *et al.*

**Tabla 3. Gasto (kg m<sup>-2</sup>) de combustible (propano) para un sistema de aire caliente con combustión directa para dos campañas y a diferentes consignas (temperatura mínima 12, 14 y 15 °C)**

| Campaña | Aire combustión directa |       |       |
|---------|-------------------------|-------|-------|
|         | 12 °C                   | 14 °C | 15 °C |
| 97-98   | 1,2                     |       | 4,3   |
| 98-99   | 2,4                     | 5,1   |       |

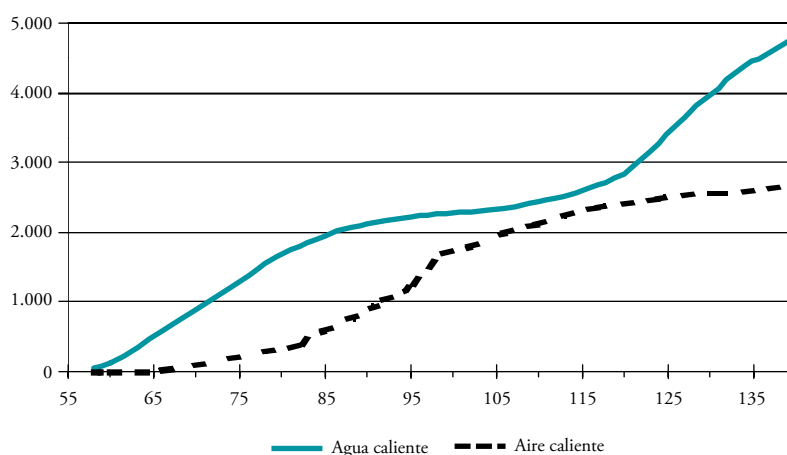
\* Para extrapolar el consumo de combustible a un invernadero de una hectárea multiplicar por 0,8.

Fuente: López *et al.*

Trabajos realizados en la Estación Experimental de Cajamar 'Las Palmerillas' en invernaderos tipo «parral» (poco herméticos) con sistemas de calefacción por aire con combustión directa para cultivos de pepino y judía a niveles de consigna bajos-medios (10-15 °C), manejando la ventilación para evitar niveles elevados de gases, no han mostrado síntomas de toxicidad ni mermas en la producción. Sin embargo, en invernaderos de arco (más herméticos), para un cultivo de judía bajo un régimen de calor alto (fase vegetativa 18 °C y fase fructificación de 16 °C) el sistema de aire caliente con combustión directa provocó en el cultivo síntomas de toxicidad (reducción de la superficie foliar, reducción de la longitud del tallo y aborto de frutos) frente al de agua caliente por tubería de hierro, provocando mermas en la producción precoz y final (Gráfico 2).

Los niveles alcanzados de CO<sub>2</sub> en el invernadero con calefacción con combustión directa, superaron las 5.500 ppm durante los períodos más fríos (temperatura interior - temperatura exterior > 8 °C). De ahí que el uso de estos sistemas deba estar condicionado a un control de los gases de combustión y a trabajar con regímenes de calor bajos o de mantenimiento (temperatura invernadero - temperatura exterior =  $\Delta T$  pequeños) procurando ventilar o parar máquinas para evitar toxicidades a las personas y plantas.

**Gráfico 2. Producción comercial para un cultivo de judía bajo dos sistemas de calefacción: aire de combustión directa y agua en tubería de hierro. En g m<sup>-2</sup>**



Fuente: Estación Experimental de Cajamar 'Las Palmerillas'.

El coste de la instalación de los sistemas de calefacción en orden creciente es: aire caliente de combustión directa, aire caliente de combustión indirecta, agua caliente a baja temperatura y agua caliente a alta temperatura. El coste de instalación para los sistemas de calefacción por agua caliente se reduce a medida que aumenta la superficie calefactada al compartir ciertos elementos (caldera, reguladores, etc.), hecho que no ocurre con los sistemas por aire caliente. Siendo el sistema más barato el aire caliente de combustión directa, también es el sistema más arriesgado al incorporar los gases de la combustión dentro del invernadero, especialmente cuando el número de horas de funcionamiento en continuo del sistema es elevado.

Dada la gran incertidumbre que mantienen los precios de los productos hortícolas y de los combustibles, es importante hacer un seguimiento continuo a la rentabilidad de los sistemas.

## Referencias bibliográficas

- BOT, G. P. A. y VAN DE BRAAK (1995): «Physics of greenhouse climate»; *Greenhouse climate control*; pp. 125-160.
- DAY, W. y BAILEY B. J. (1998): «Physical principles of microclimate modification»; *Ecosystems of the World*; pp. 71-101.
- FEUILLOLEY, P. y BAILLE, A. (1992): «Principes généraux d'utilisation des eaux tièdes pour le chauffage des serres»; *Informations Techniques du CEMA-GREF* (87); pp. 1-8.
- González-Real, M. y Baille, A. (1998): «Calefacción de invernaderos»; *Tecnología de invernaderos II*; pp. 339-398.
- LÓPEZ, J. C.; MATEO, A.; PUERTO, H. y PÉREZ, J. (2000): *Calefacción de invernaderos en el sudeste español*.
- LORENZO, P.; SÁNCHEZ-GUERRERO, M. C. y MEDRANO (2000): *Calefacción de invernaderos en el sudeste español*. Edita.
- HANAN J. J.; HOLLEY, W. D. y GOLDSBERRY, K. L. (1978): *Greenhouse Management*. New York; p. 530.

# Tecnología de invernaderos y gestión integrada de plagas

*Juan Carlos Gázquez Garrido, Juan Carlos López Hernández,  
Corpus Pérez Martínez, Esteban Baeza Romero,  
David E. Meca Abad y Jerónimo Pérez Parra  
Estación Experimental de Cajamar 'Las Palmerillas'*

## 1. Introducción

Con el objetivo final de lograr producciones de una calidad certificable y reconocible, los avances en los sistemas de producción bajo invernadero, igual que en otros sistemas agrícolas, deben dirigirse a consolidar un modelo productivo racional en el uso de los recursos y respetuoso con el medioambiente que incorpore garantías de salud para consumidores y productores.

En los últimos años se ha puesto de manifiesto una preocupación, cada vez mayor, por el consumo de productos de mayor calidad y seguros para la alimentación, producidos bajo criterios de sustentabilidad ambiental. El uso reducido y racional de productos fitosanitarios en el control de plagas y enfermedades tiene un papel destacado en la satisfacción de este objetivo. Como respuesta a la demanda de calidad y seguridad alimentaria, los productores de hortalizas de Almería están llevando a cabo en los últimos años, con éxito, un cambio de estrategia en el control de plagas y enfermedades, potenciando y priorizando el control biológico sobre el químico, apoyados en los resultados de un importante e intenso trabajo de investigación y de innovación desarrollado en las últimas décadas por investigadores y técnicos de entidades públicas y empresas. Este trabajo, que ha permitido el desarrollo de las herramientas esenciales (conocimientos, técnicas, fauna auxiliar, plantas reservorio, etc.) necesarias a los productores y técnicos para implementar el control biológico de plagas y enfermedades en los invernaderos almerienses, debe seguir creciendo para lograr que este cambio estratégico sea robusto y sostenible en el tiempo, sea cada vez mas eficaz y eficiente y sea capaz de responder con acierto y rapidez a los nuevos problemas a los que, inevitablemente, deberá enfrentarse en el futuro.

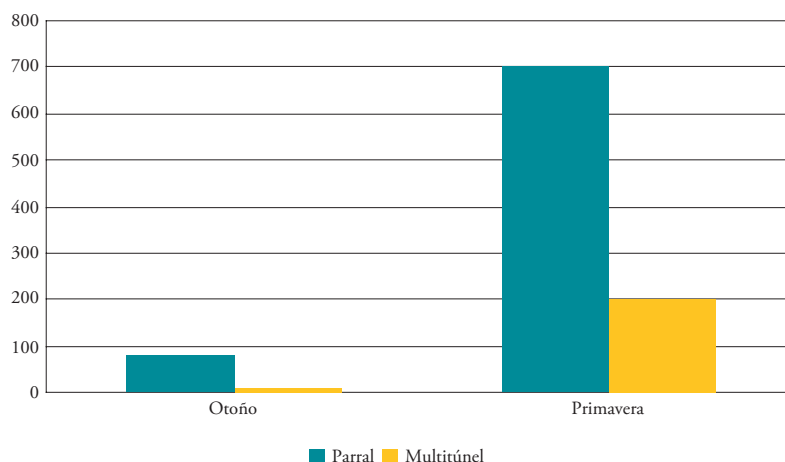
Para el estudio de las variables que afectan a la incidencia de plagas y enfermedades, es necesario considerar el invernadero como un sistema del que forman parte el cultivo, las poblaciones de los diferentes especies plagas que la afectan y la fauna auxiliar ligada a ellos. Y tener en cuenta que sobre el equilibrio de dicho ecosistema interaccionan diferentes factores propios de este, tales como la configuración del cerramiento que lo define (hermeticidad, características de los materiales), el equipamiento instalado en el mismo (calefacción, refrigeración, CO<sub>2</sub>) o de la gestión realizada de dicho sistema. En definitiva, la tecnología empleada en el invernadero y su gestión afectan de un modo determinante a todos y cada uno de los componentes vivos del invernadero: plantas, plagas y fauna auxiliar, y determinarán la intensidad de la problemática fitosanitaria o el éxito en su resolución para cada invernadero.

La evaluación de las interacciones de los factores mencionados con el comportamiento de las poblaciones de plagas y fauna auxiliar debe aportar información útil para asegurar el éxito en la incorporación de la lucha biológica en el control de plagas. En este sentido, en la Estación Experimental de Cajamar 'Las Palmerillas', durante los últimos años se han evaluado diferentes aspectos de las estructuras, los cerramientos (plásticos y mallas), los equipos de climatización o técnicas de cultivo que interactúan con el complejo planta-plaga-enemigo natural, y por tanto influyen sobre la eficacia del control biológico.

## **2. Estructuras de invernadero y materiales plásticos fotoselectivos o antiplagas**

El invernadero confina el espacio en el que se desarrollan los cultivos y establece la barrera física más importante para evitar la entrada de insectos plaga o vectores de virus que puedan causar daños económicos en la producción. Un cerramiento hermético, en el que los puntos de comunicación entre el interior y el exterior del invernadero a través de los cuales puedan llegar los insectos plaga hasta los cultivos (ventanas, puertas, agujeros) estén adecuadamente protegidos, es una de las primeras medidas a observar en el control integrado de plagas. El Gráfico 1, basado en observaciones realizadas en la Estación Experimental de Cajamar 'Las Palmerillas', muestra cómo afecta el grado de hermeticidad de la estructura a la incidencia de tuta absoluta, una de las más recientes y devastadoras plagas para la agricultura de invernadero en Almería.

**Gráfico 1. Capturas de tuta absoluta en diferentes estructuras de invernaderos.  
En número de individuos**



Fuente: Estación Experimental de Cajamar 'Las Palmerillas'.

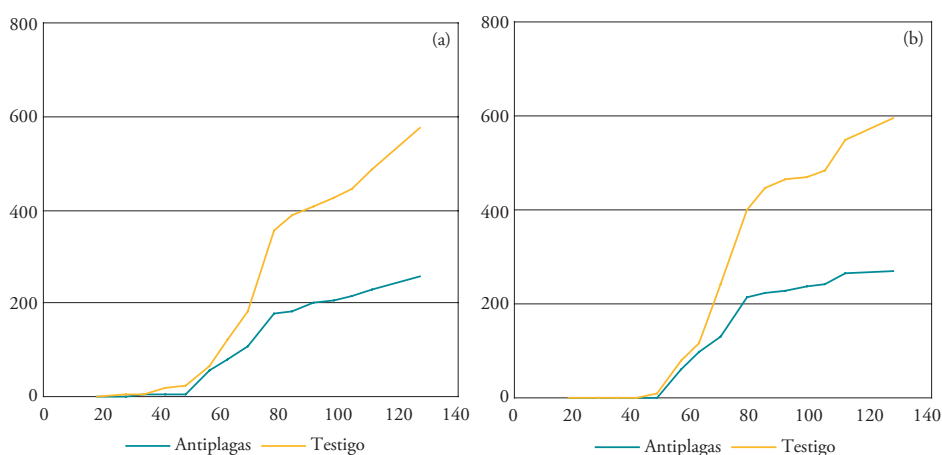
La utilización de los plásticos conocidos como antiplagas (fotoselectivos), que bloquean parte de la radiación UV (Salmerón *et al.*, 2001) y eliminan la longitud de onda correspondiente al color más visible para los insectos, permite dificultar el desarrollo de los insectos plaga (Salmerón *et al.*, 2001; Antignus *et al.*, 2001; Lapidot, *et al.*, 2002), o de virus transmitidos por los insectos que son sensibles a la disminución o ausencia de la radiación ultravioleta (Gonzalez *et al.*, 2003; Monci *et al.*, 2004; Rapisarda, *et al.*, 2006). Sin embargo, también pueden tener un efecto negativo sobre la actividad de los polinizadores, que se encuentran necesitados del espectro de la radiación ultravioleta (Bertholf, 1931; Weiss, 1943; Hollingsworth *et al.*, 1970; Varela, 1974; Brown *et al.*, 1998; Chittka y Thomson, 2001), limitando su visión (Cabello *et al.*, 2005 a, 2006; Soler *et al.*, 2005), ya que las condiciones de la luz ultravioleta puede cambiar la percepción de los polinizadores, abeja (*Apis mellifera*) y abejorro (*Bombus terrestris*), sobre los distintos colores de la flor, aumentando así la dificultad para localizar las flores entre el cultivo (Cabello *et al.*, 2005b; 2006). Sin embargo, este efecto negativo puede ser atenuado por la capacidad de respuesta de los polinizadores, así los abejorros tienen una excelente y rápida capacidad de aprendizaje y pueden llegar a adaptarse a la ausencia de la luz ultravioleta (Dyer y Chittka, 2004).

La limitación de la luz ultravioleta reduce, disminuye, e incluso, evita el crecimiento y esporulación de hongos patógenos como *Botrytis cinerea* (Jarvis, 1997; Díaz *et al.*, 2001).

Para evaluar la influencia de los filtros para la radiación ultravioleta aditivados a los materiales plásticos, sobre la presencia de *Bemisia tabaci* y *Frankliniella occidentalis*, así como sobre la actividad de los polinizadores naturales (*Bombus terrestris* y *Apis mellifera*), se han realizado en la desde el año 2005 diferentes estudios comparando cerramientos con diferentes niveles de absorción de radiación ultravioleta (1, 10, 23, 55 y 65 %, respectivamente) en cultivos de tomate, melón y sandía mini.

En relación a los insectos plaga (Gráfico 2), los resultados obtenidos demuestran que los plásticos antiplagas que absorben la radiación ultravioleta que llega al invernadero, limitan la movilidad de los insectos, y por tanto la reproducción, por lo que resulta una herramienta importante para el control de mosca blanca y trips en invernadero ya que en los ensayos realizados se contabilizaron reducciones del 65 % tanto de *Bemisia tabaci* como de *Frankliniella occidentalis* bajo plástico antiplagas en relación al testigo (Pérez *et al.*, 2009).

**Gráfico 2. Evolución del número acumulado de *Bemisia tabaci* (a) y *Frankliniella occidentalis* (b), en placas cromotrópicas, bajo plásticos con una transmisividad del 1 % (Anti plagas) y 55 % de la radiación UV (Testigo)**

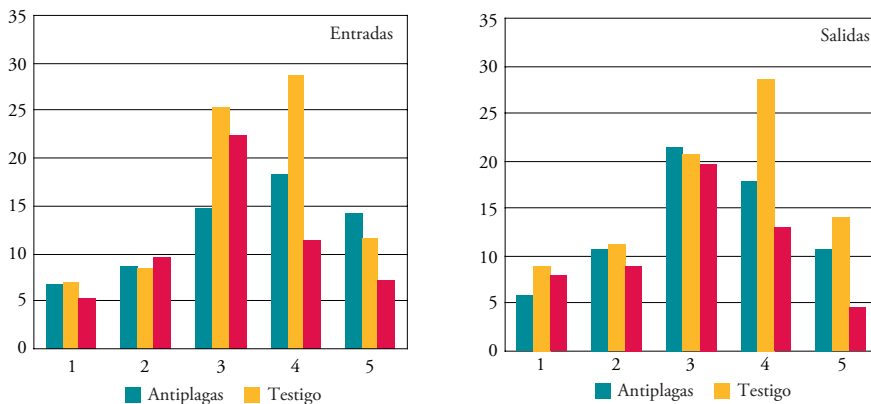


Fuente: Pérez *et al.* (2009).

Respecto a los polinizadores (Gráfico 3 y 4), los resultados experimentales demuestran que existe una interacción específica entre los plásticos antiplagas y la especie polinizadora, de forma que la actividad del abejorro (*Bombus terrestris*) no se ve afectada por el uso de plásticos antiplagas, no afectando a la producción del cultivo, mientras que la actividad de las abejas (*Apis mellifera*) sí se ve afectada (López *et al.*, 2006; Pérez *et al.*, 2007), registrándose una reducción del 46 % en el número de abejas que entran y salen de la colmena, lo que provocó reducciones máximas de producción de hasta el 34 % (Pérez *et al.*, 2009).

### Cultivo de sandía mini

**Gráfico 3. Seguimiento de la actividad de los abejorros (*Bombus terrestris*) bajo plásticos con una transmisividad del 1 % (Anti plagas) y 55 % de la radiación UV (Testigo). Entradas: número medio de abejorros que entran en las colmenas durante 15 minutos de actividad. Salidas: número medio de abejorros que salen de las colmenas durante 15 minutos de actividad**

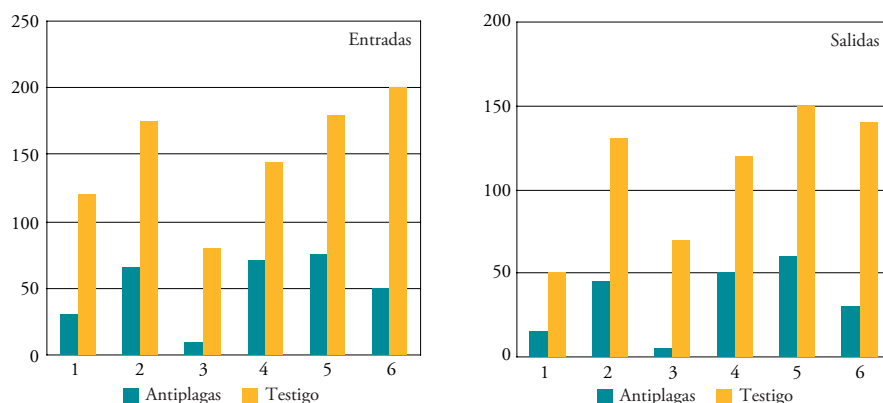


Fuente: Pérez *et al.* (2009).

### Cultivo de melón

**Gráfico 4. Seguimiento de la actividad de abejas (*Apis mellifera*) bajo plásticos con una transmisividad del 1 % (Anti plagas) y 55 % de la radiación UV (Testigo).**

**Entradas: número total de abejas que entran en la colmena durante 10 minutos de actividad. Salidas: número total de abejas que salen de las colmenas durante 10 minutos de actividad**



Fuente: Pérez *et al.* (2009).

Los resultados obtenidos muestran como los plásticos antiplagas reducen la incidencia de mosca blanca y trips de manera significativa, no afectando a la implementación del control biológico y además el abejorro (*Bombus terrestris*) no se vio afectado por el uso de plástico antiplagas, mientras que sí lo fue *Apis mellifera*. Por lo que, en los cultivos en los que no se emplean las abejas como polinizadores, como tomate, pimiento, pepino, berenjena, judía, e incluso calabacín, la incorporación de los plásticos antiplagas puede permitir realizar un mejor control de las principales plagas hortícolas y mejorar los resultados obtenidos por el control biológico.

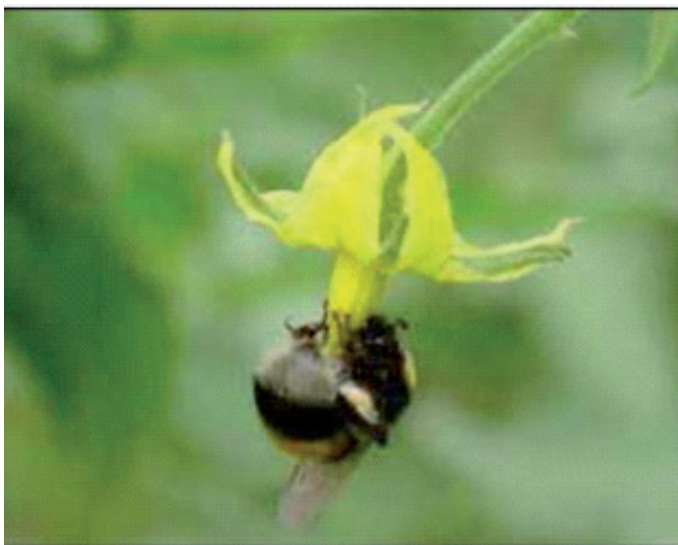
**Figura 1. Vuelo de la abeja (*Apis mellifera*) sobre la flor de melón**



**Figura 2. Abeja (*Apis mellifera*) en una flor de sandía**



**Figura 3. Abejorro (*Bombus terrestris*) en una flor de tomate**



**Figura 4. Abejorro (*Bombus terrestris*) en una flor de sandía**

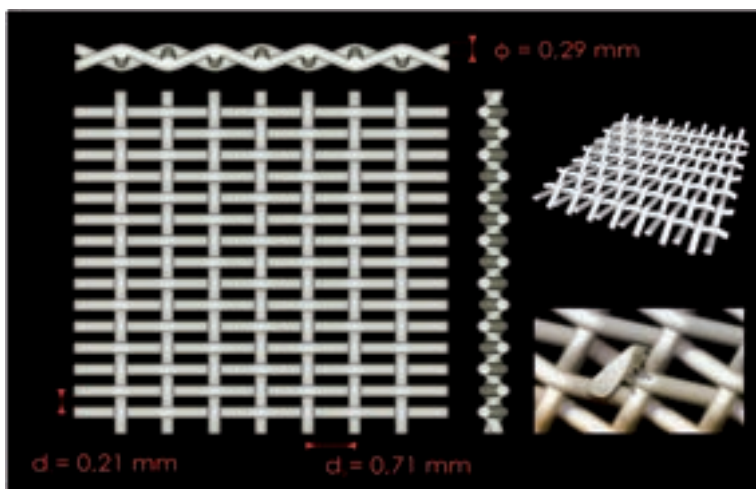


### 3. Mallas antiinsectos

Las plagas en general y en particular aquellas que actúan como vectores de virus como *Bemisia tabaci* y *Frankliniella occidentalis*, vectores de virus tales como el rizado amarillo del tomate (TYLCV) o el virus del bronceado del tomate (TSWV), respectivamente, se han convertido en el problema de gran repercusión económica en la horticultura protegida (Gázquez *et al.*, 2009b). Por ello, el uso de mallas en las ventanas como barrera física para reducir la entrada de insectos es una medida preventiva imprescindible en los sistemas de producción intensiva para reducir las aplicaciones de fitosanitarios y mejorar las posibilidades de éxito del control biológico.

En la actualidad, los catálogos de mallas antiinsecto disponibles para los agricultores son muy amplios (mallas de distinta densidad de hilos, variados colores, mallas fotoselectivas, etc.), pero la necesidad de compatibilizar la eficacia de las mallas en la exclusión de insectos con una adecuada permeabilidad al paso de aire que permita mantener unas correctas condiciones de ventilación, determina que el proceso de selección de la malla resulte complejo.

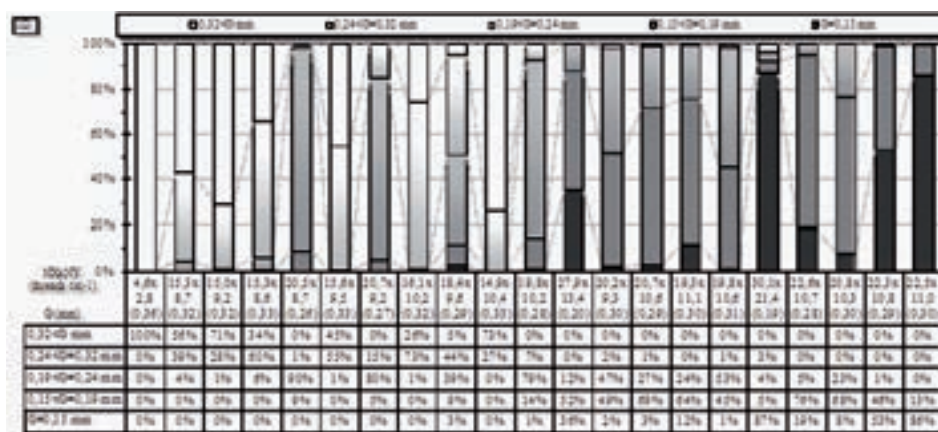
**Figura 5. Imagen digital de una malla antiinsectos**



Fuente:

Durante los últimos años se han realizado diversos estudios para caracterizar geométricamente las mallas comerciales, así como calcular su porosidad (Ross y Gill, 1994; Bell y Baker, 1997; Teitel, 2001; Bartzanas *et al.*, 2002, Cabrera *et al.*, 2002; Valera *et al.*, 2003, Cabrera *et al.*, 2006), con el fin de determinar tanto su eficacia como barrera física ante la entrada de insectos como el efecto sobre la ventilación natural de los invernaderos.

**Gráfico 5. Estudio del porcentaje de exclusión de insectos para 21 mallas comerciales**

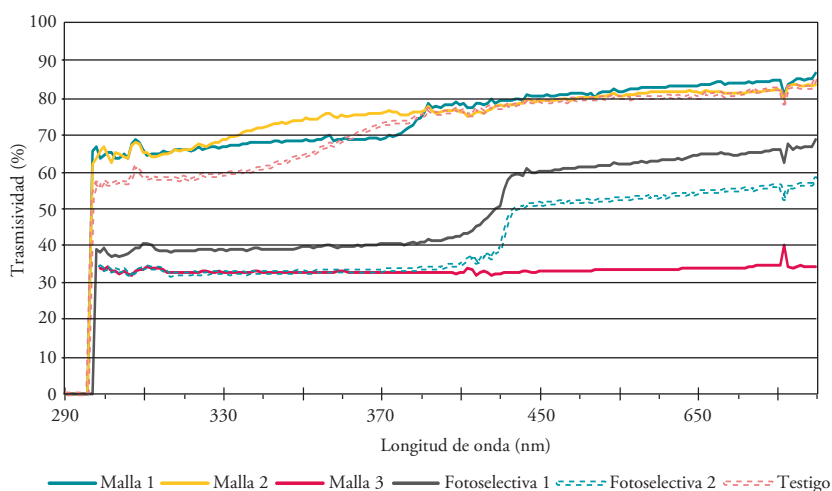


Muchos de estos trabajos evidencian que las propiedades de las mallas no siempre están bien definidas en las ofertas comerciales. En la Estación Experimental de Cajamar 'Las Palmerillas', desde el año 2002, han realizado trabajos sobre caracterización de mallas en los que se evalúan las características físicas de las mismas y su uniformidad, su eficacia como barrera contra insectos plaga y el efecto sobre la tasa de ventilación (Gráfico 6). Estos trabajos han mostrado la falta de uniformidad en el tamaño de los huecos y en su geometría, que las propiedades de las mallas no están bien definidas y que es necesario mejorar la identificación comercial de las mallas y precisar sus características.

Una correcta definición de una malla debe incluir (o permitir su estimación) información sobre los siguientes aspectos:

- Dimensión media del hueco y porcentaje de exclusión de insectos.
- Diámetro de hilo: diámetro o sendos diámetros en caso de ser oval, expresado en milímetros.
- Número de hilos por centímetro cuadrado, describiendo en primer lugar el número de hilos en urdimbre y en segundo lugar los de la trama. (p. ej.: 20 x 10 hilos  $\text{cm}^{-2}$ ).
- Resistencia al flujo de aire (o Porosidad): relación entre el área de hueco y el área total.
- Homogeneidad.
- Propiedades ópticas: transmisividad espectral y reflexión o absorción espectral.
- Propiedades mecánicas (Resistencia a la radiación UV).

**Gráfico 6. Espectro de trasmisividad de diferentes mallas comerciales**



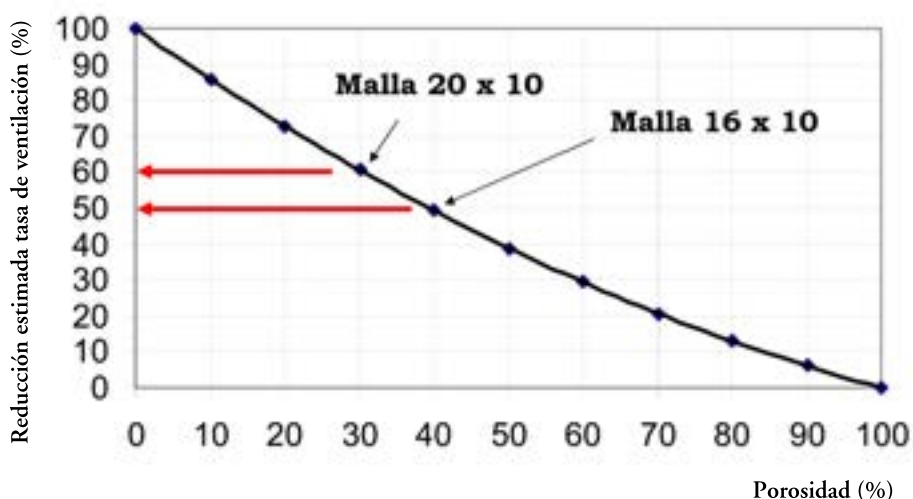
Malla 1: malla de 28 x 13 hilos  $\text{cm}^{-2}$  de Macrotex; Malla 2: malla de 30 x 21 hilos  $\text{cm}^{-2}$  Econet-t de Ludvig Svensson; Malla 3: malla de 20 x 10 hilos  $\text{cm}^{-2}$  de color negro; Fotoselectiva 1: malla de 21 x 9 hilos  $\text{cm}^{-2}$  BioNet de Klayman Meteor L. T. D.; Fotoselectiva 2: malla de 21 x 11 hilos  $\text{cm}^{-2}$  OptiNet de Polysack.

Fuente: Estación Experimental de Cajamar 'Las Palmerillas'.

La eficacia de las mallas antiinsectos se debe bien a que actúan como barrera física (Bethke *et al.*, 1994; Baker y Shearin, 1994; Bell, 1997, Bell y Weatherley, 1999; Antignus, 1999; Teitel *et al.*, 2000; Critten y Bailey, 2002; Díaz Pérez *et al.*, 2003; Hanafi *et al.*, 2003; Teitel 2006), bien a que actúan como filtro de la luz (Bethke *et al.*, 1994; Antignus *et al.*, 2001; Teitel, 2001; Klose y Tantau, 2004) con el consiguiente efecto negativo sobre el cultivo.

Se analizó el espectro de diferentes mallas comerciales (Gráfico 7), destacando como algunas de ellas (malla 3) ejercen una fuerte reducción de la luz, transmitiendo por igual en todo el espectro (en torno al 34 %). Las mallas fotoselectivas reducen significativamente la transmisión de radiación ultravioleta (un 36 y 33 % frente al 60 % que transmite el resto de mallas: testigo, malla 1 y malla 2). En el espectro visible, la transmisividad media de las mallas no fotoselectivas (testigo, malla 1, malla 2 y malla 3) es superior al 80 % frente al 61 % de la malla fotoselectiva 1 o el 50 % de la malla fotoselectiva 2 (Gazquez *et al.*, 2009b).

**Gráfico 7. Reducción de la tasa de ventilación en función de la porosidad de la malla. En porcentaje**



Fuente: Pérez-Parra *et al.* (2004).

**Figura 6. *Bemisia tabaci***



**Figura 7. *Frankliniella occidentalis***



**Figura 8. *Tuta absoluta***



La eficacia como barrera física depende, fundamentalmente, del tamaño de hueco, definido a su vez por el grosor y el número de hilos, y del tamaño y/o morfología del insecto plaga. Las dimensiones (ancho torácico y ancho abdomen) de los principales insectos plagas en los invernaderos de Almería se recogen en la Tabla 1.

**Tabla 1. Dimensiones de insectos plaga comunes presentes en los invernaderos de Almería**

| Insecto plaga                     | Ancho torax (micras) | Ancho abdomen (micras) |
|-----------------------------------|----------------------|------------------------|
| <i>Liriomyza trifolii</i>         | 640                  | 850                    |
| <i>Trialeurodes vaporariorum</i>  | 288-400              | 708                    |
| <i>Bemisia tabaci</i>             | 239-320              | 565                    |
| <i>Frankliniella occidentalis</i> | 192                  | 265                    |

Fuente:

Por otra parte, como muestra el Gráfico 8, las mallas en las ventanas provocan una reducción de la renovación del aire (Muñoz *et al.*, 1999; Fatnassi *et al.*, 2002 y 2006; Kittas *et al.*, 2002; Pérez-Parra *et al.*, 2003; Molina-Aiz *et al.*, 2005) (mayores temperaturas, más humedad, menos CO<sub>2</sub>) que debe ser compensada bien mediante el aumento de la superficie de ventilación (Pérez-Parra *et al.*, 2004), o bien, para obtener una mayor porosidad con una mayor exclusión de insectos, es decir, una mayor eficiencia, es necesario un menor diámetro de hilo (Cabrera *et al.*, 2006; Gázquez *et al.*, 2009b).

Teniendo en cuenta aspectos como el carácter tridimensional de las mallas, el diámetro torácico de los insectos y un diámetro de hilo pequeño (0,19 mm) Cabrera *et al.* (2006) definieron la malla tipo más eficiente para la exclusión de las dos plagas más importantes en la agricultura bajo plástico (*Bemisia tabaci* y *Frankliniella occidentalis*) (Tabla 2).

**Tabla 2. Mallas más eficientes para la exclusión de las dos plagas más importantes en la agricultura bajo plástico (*Bemisia tabaci* y *Frankliniella occidentalis*)**

| Insecto plaga / diámetro tridimensional del hueco (mm) | Ø3D (mm) | Porosidad ( $\text{m}^2 \text{ m}^{-2}$ ) ( $\varepsilon$ ) | Reducción ventilación (%) | Tipo de malla (cm hilos <sup>2</sup> ) |
|--------------------------------------------------------|----------|-------------------------------------------------------------|---------------------------|----------------------------------------|
| <i>Bemisia tabaci</i> (Ø3D: 0,24)                      | 0,24     | 0,42                                                        | 33                        | 24 x 12                                |
| <i>Frankliniella occidentalis</i> (Ø3D: 0,19 )         | 0,19     | 0,36                                                        | 41                        | 28 x 14                                |

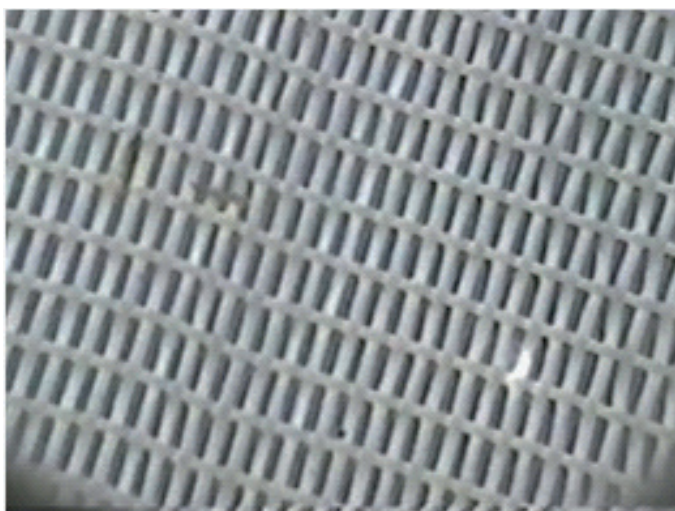
Fuente: Cabrera *et al.* (2006).

En la Estación Experimental de Cajamar ‘Las Palmerillas’ en tres años consecutivos (2005, 2006 y 2007) y durante la época de primavera verano se han comparado mallas como material de cubierta de invernadero con diferentes propiedades tanto físicas como ópticas.

**Figura 9. Distintos tipos de mallas comerciales**



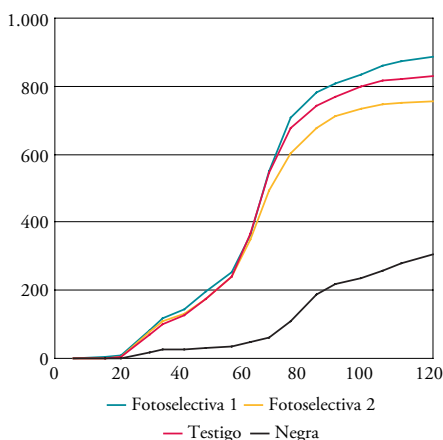
**Figura 10. Malla 28 x 14 hilos cm<sup>-2</sup>**



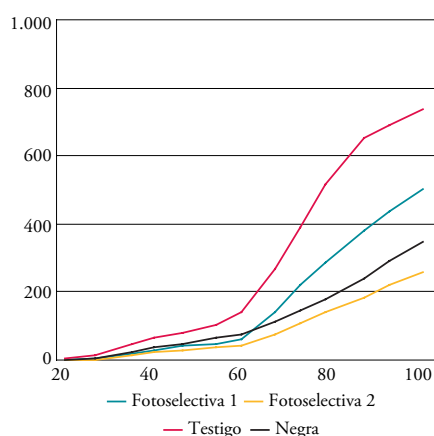
Se ha analizado la influencia de mallas de distinta densidad de hilos y fotoselectividad utilizados como material de cubierta sobre la respuesta productiva de un cultivo de tomate en ramo, en ciclo de verano con control integrado, así como la incidencia de *Bemisia tabaci*, *Frankliniella occidentalis*, Tomato Yellow Leaf Curl Virus (TYLCV) y Tomato Spotted Wilt Virus (TSWV).

Los resultados obtenidos (Gráfico 8 y 9) indican que el empleo de mallas fotoselectivas o de mayor densidad que las mallas estándar de 20 x 10 hilos cm<sup>-2</sup> reducen de forma significativa los niveles de *Bemisia tabaci* y de TYLCV (Gázquez *et al.*, 2007). Asimismo, el empleo de mallas fotoselectivas no reduce significativamente la incidencia de *Frankliniella occidentalis*, efecto que si se ha observado cuando la reducción de radiación bajo la malla es importante (malla negra). Sin embargo, la fuerte reducción de la radiación transmitida por algunas mallas (negras o fotoselectivas), tienen efectos muy negativos sobre la producción final, con reducciones en producción de hasta el 50 % en un cultivo de tomate (Gázquez *et al.*, 2009b).

**Gráfico 8. Evolución de la Incidencia Día Acumulada (IDA) de *Frankliniella occidentalis* en planta, bajo diferentes mallas comerciales**



**Gráfico 9. Evolución de la Incidencia Día Acumulada (IDA) de *Bemisia tabaci* en planta, bajo diferentes mallas comerciales**



Fuente: Gázquez *et al.* (2007).

## 4. Técnicas de refrigeración y control de plagas

La necesidad de atender las demandas de los mercados de un suministro continuo de productos durante todo el año, estable en cantidad y calidad, está obligando a ampliar los ciclos de cultivo hacia la época de verano, cuando se alcanzan en el invernadero temperaturas muy por encima de las óptimas ( $T > 35^{\circ}\text{C}$ ) y humedades muy por debajo, con elevados déficits de presión de vapor ( $\text{DPV} > 3 \text{ kPa}$ ). Por consiguiente, es necesario disponer de algún sistema de refrigeración en el invernadero para mantener unas condiciones más favorables para las plantas y que permitan conseguir cosechas adecuadas en cantidad y calidad durante más tiempo.

El adecuado control de la temperatura ambiental en invernadero es un factor esencial para obtener una producción homogénea y de calidad durante gran ciclo productivo, al intervenir de forma decisiva sobre multitud de procesos fisiológicos de los cultivos (Gonzalez-Real and Baille, 2006). Si consideramos los ciclos de cultivo habituales en Almería, surge la necesidad de reducir la temperatura del aire desde principios de primavera hasta finales del otoño (Kittas *et al.*, 1996; Montero *et al.*, 1998). La estrategia más práctica y

económica, y por ello la más utilizada para bajar la temperatura del invernadero durante el día, es la combinación de ventilación natural más blanqueo de la cubierta (Meca *et al.*, 2007).

La incorporación de mallas antiinsecto en las ventanas del invernadero para proteger los cultivos de plagas y enfermedades es una práctica generalizada que se ha adoptado en la horticultura del sudeste mediterráneo. Muñoz *et al.* (1998), Pérez-Parra (2002) han cuantificado reducciones considerables de la tasa de ventilación del invernadero que van desde el 35 hasta el 60 % para mallas conocidas como antipulgón y antitrips, comúnmente usadas en los invernaderos. Por tanto, estas barreras físicas propician que la ventilación natural resulte insuficiente para alcanzar un régimen térmico e higrométrico aceptable para el desarrollo tanto de los cultivos hortícolas como de los enemigos naturales que introducimos en los mismos.

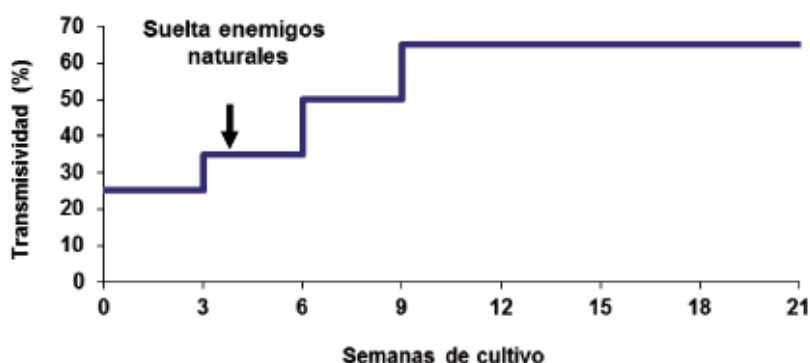
El mayor problema de la mayoría de los invernaderos tipo parral multi-capilla es la falta de una adecuada ventilación natural. Esto provoca la aparición de temperaturas excesivas en el interior del invernadero y de problemas asociados a dichos excesos térmicos, especialmente si los niveles de humedad relativa son bajos: estrés hídrico, problemas de cuajado de frutos, fisiopatías del fruto (*blossom end rot*, *blotching* (maduración irregular), rajado de la epidermis...), etc. Pero una ventilación natural deficiente también tiene efectos perniciosos en épocas frías, pues estas coinciden en Almería con el pleno desarrollo de los cultivos, cuya transpiración induce la aparición de elevados niveles de humedad relativa. Estos niveles, unidos al enfriamiento nocturno de la cubierta, acaban produciendo condensación en la cara interior del plástico. Dicha condensación produce un goteo sobre el cultivo que favorece el desarrollo de enfermedades fúngicas y bacterianas de la parte aérea (Hand, 1984; Mistriotis *et al.*, 1997; Papadakis *et al.*, 2000). Además, la lámina de condensación reduce la transmisión de luz al interior del invernadero (hasta un 40 % en las horas centrales del día, Jaffrin and Makhlouf, 1990) limitando la intercepción de luz por parte del cultivo, y en definitiva, la producción. Además, pueden aparecer desórdenes nutricionales asociados a los altos niveles de humedad relativa. Por último, y no menos importante, una mala tasa de renovación de aire puede hacer que los niveles de CO<sub>2</sub> en el interior del invernadero bajen drásticamente a medida que este es fijado por el cultivo como consecuencia de su actividad fotosintética. Con condiciones deficientes de ventilación, han sido medidas reducciones de la concentración de CO<sub>2</sub> del 25 % respecto a la concentración exterior con vientos superiores a 5 m s<sup>-1</sup>,

(Lorenzo, 1990); y de hasta un 44 % con vientos inferiores a  $1,5 \text{ m s}^{-1}$ , que resultan limitantes para la productividad del mismo.

La conveniencia de ventilar adecuadamente el invernadero para evitar problemas fitopatológicos indeseables y para procurar condiciones adecuadas para la introducción y establecimiento de fauna auxiliar beneficiosa, sobre todo cuando la colocación de mallas antiinsecto es inevitable, hace necesario mejorar el diseño de los sistemas de ventilación actuales, aumentando la superficie de ventilación, incorporando ventanas más eficientes (abatibles frente enrollables) o combinando ventilación lateral y cenital (Pérez-Parra *et al.*, 2004).

Por otra parte, el sombreado por blanqueo de la cubierta presenta una serie de inconvenientes como son la permanencia de la cal en el invernadero durante días nublados y la falta de homogeneidad en su aplicación (Montero *et al.*, 1998). Mejoras como el establecimiento y el lavado progresivo del blanqueo (Gráfico 10), ayudarían tanto al desarrollo del cultivo como a la adecuada evolución de las poblaciones de enemigos naturales.

**Gráfico 10. Pauta recomendable de manejo del blanqueo de la cubierta del invernadero en pimiento**



Fuente: Montero *et al.* (1998).

Cuando la combinación de ventilación natural y blanqueo en los periodos de mayor carga térmica no son suficientes para evitar las altas temperaturas, la incorporación de otros sistemas de refrigeración, como pueden ser la ventilación forzada o la refrigeración evaporativa mediante nebulización, pueden ser alternativas a tener en cuenta, por su alta eficiencia. Pero la incorporación

de tecnología para el control de las temperaturas excesivas tiene efectos, que deben ser estudiados, sobre la incidencia de plagas y de sus enemigos naturales para corregir efectos indeseados.

En la se ha desarrollado un programa de investigación sobre refrigeración en invernaderos, en los que se han evaluado diferentes sistemas de refrigeración: ventilación natural, ventilación forzada, nebulización, tanto a alta como a baja presión, blanqueo a diferentes concentraciones y combinaciones de estas técnicas (Aroca, 2003; Maillo, 2005; Sáez, 2005; Rodríguez, 2006; Parra, 2007; González, 2008; Meca, 2008; Gázquez *et al.*, 2006; 2007 y 2009; Meca *et al.*, 2006 y 2007; Pérez-Parra *et al.*, 2005) y se han cuantificado los efectos de dichas técnicas de refrigeración sobre la incidencia de plagas y enfermedades.

**Figura 11. Invernadero con ventilación natural**



**Figura 12. Ventilación forzada**



**Figura 13. Boquilla de nebulización a alta presión**

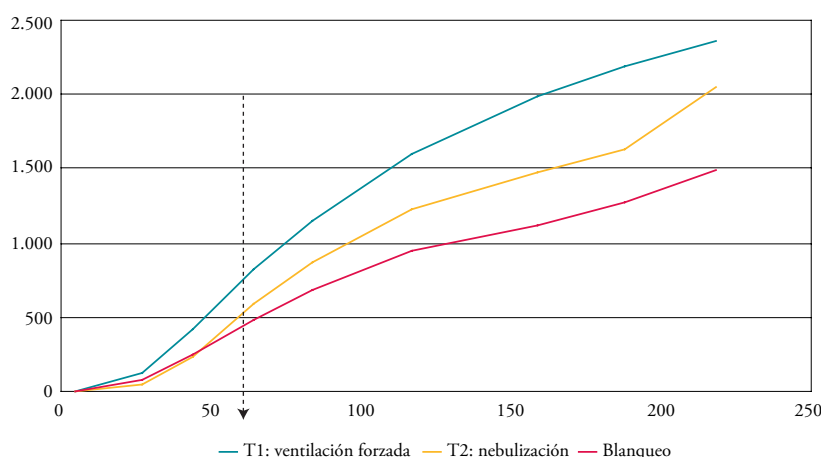


**Figura 14. Boquilla de nebulización a baja presión**



Los resultados (Gráficos 11 y 12) muestran que la utilización de ventilación forzada aumentó significativamente las poblaciones tanto de *Bemisia tabaci* y *Frankliniella occidentalis* con respecto al blanqueo y la nebulización, debido a la penetración más elevada de los mismos a través de la malla de las ventanas de entrada por la caída de presión inducida por los ventiladores-extractores. En relación a los virus y enfermedades también hubo una mayor incidencia de TSWV en el tratamiento de ventilación forzada y de *Botrytis cinerea* en el de nebulización (Gázquez *et al.*, 2007).

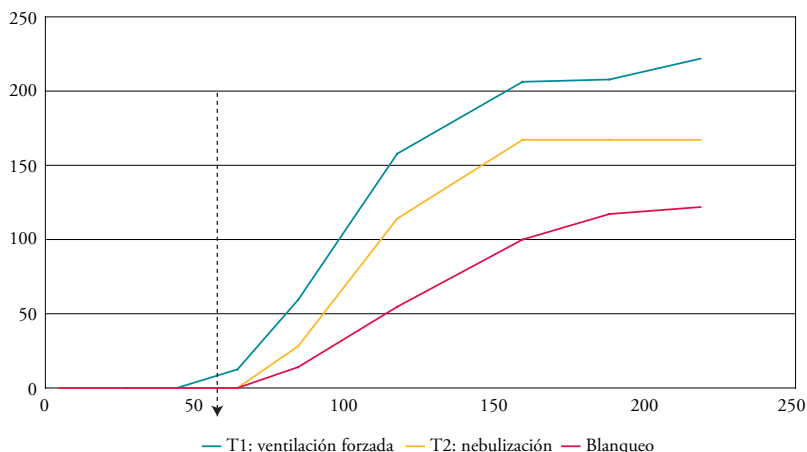
**Gráfico 11. Número de Moscas Día Acumuladas (MDA) para un cultivo de pimiento bajo tres sistemas de refrigeración (T1: ventilación forzada, T2: nebulización y T3: blanqueo)**



\* Lavado del blanqueo (59 ddt).

Fuente: Gázquez *et al.* (2007).

**Gráfico 12. Número de Trips Día Acumulados (TDA) para un cultivo de pimiento bajo tres sistemas de refrigeración (T1: ventilación forzada, T2: nebulización y T3: blanqueo)**

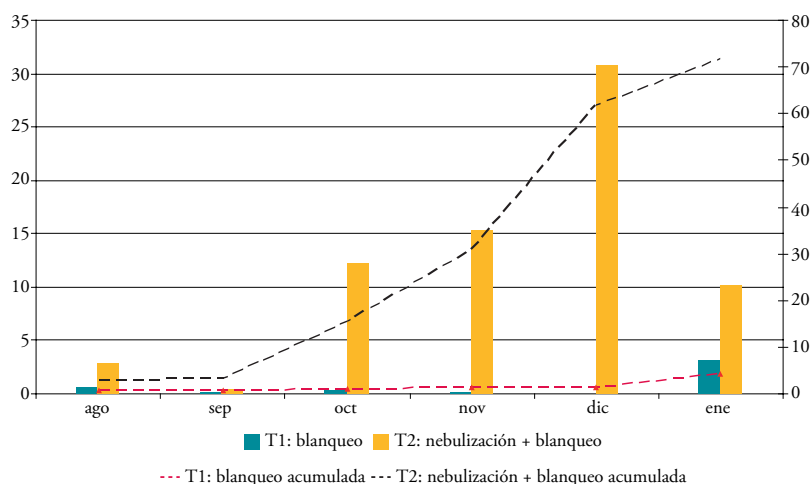


\* Lavado del blanqueo (59 ddt).

Fuente: Gázquez *et al.* (2007).

En ensayos posteriores se evaluó la influencia de dos estrategias de refrigeración (blanqueo a dosis estándar vs. nebulización en la incidencia de plagas (*B. tabaci* y *F. occidentalis*) y del TSWV en un cultivo de pimiento california en invernadero o bajo control químico. El tratamiento de nebulización, al moderar el déficit de humedad y el estrés hídrico durante las primeras semanas, favoreció el desarrollo y reproducción de los trips, manteniendo niveles superiores respecto al tratamiento de blanqueo (Gázquez *et al.*, 2007). La diferencias encontradas en la presencia de trips se trasladaron a una mayor incidencia del TSWV en el tratamiento con nebulización, con un porcentaje de plantas afectadas del 72 % al final del ciclo de cultivo, siendo el mes de diciembre en el que más plantas enfermas se encontraron (más del 30 % del total); en el tratamiento de blanqueo no se llegó ni al 5 % de plantas infectadas (Gráfico 13) (Gázquez *et al.*, 2009a).

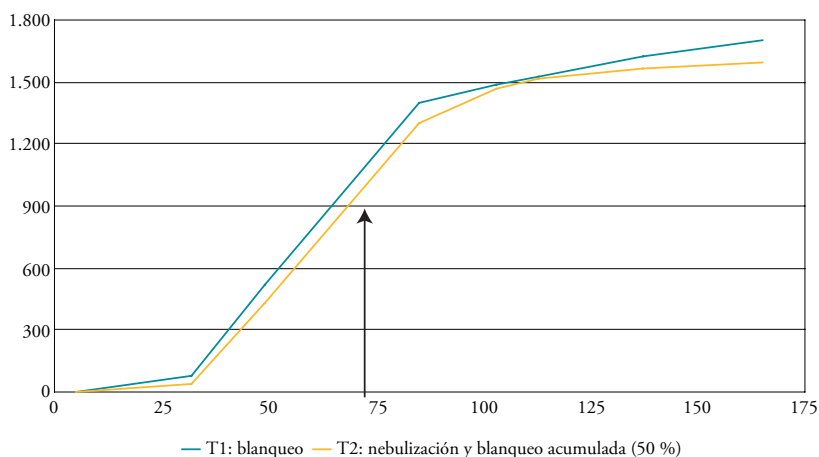
**Gráfico 13. Evolución del porcentaje de virus TSWV en un cultivo de pimiento bajo dos estrategias de refrigeración: blanqueo de la cubierta con dosis estándar y nebulización más blanqueo de la cubierta con dosis reducida (50 %)**



Fuente: Gázquez *et al.* (2009a).

Los resultados mostraron que la estrategia nebulización combinada con blanqueo de la cubierta (dosis de blanqueo: 12,5 kg de blanco España por 100 L de agua) aumenta significativamente las poblaciones de *Frankliniella occidentalis* con respecto al blanqueo estándar (25 kg de blanco de España por 100 L de agua) (Gráfico 14 y 15). En relación a los virus transmitidos por trips también hubo una mayor incidencia de TSWV bajo dicho tratamiento, no observándose en cambio diferencias en la incidencia de *Bemisia tabaci* (Gázquez *et al.*, 2009a).

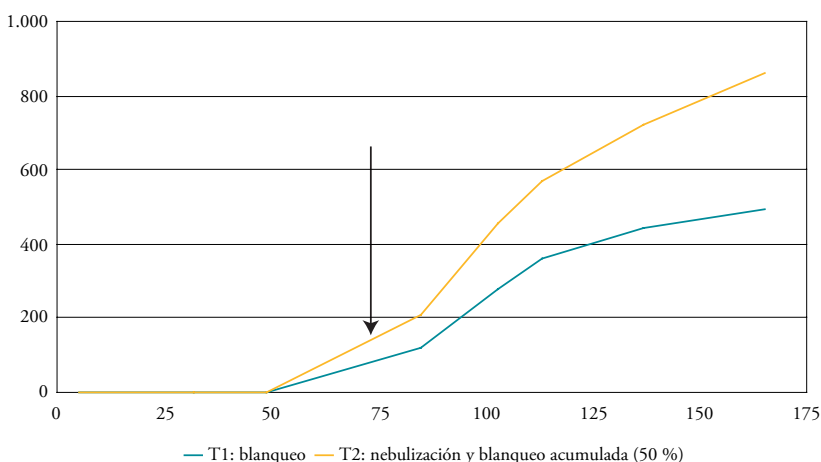
**Gráfico 14. Evolución de índice Mosca Día Acumulada (MDA) en planta para un cultivo de pimiento bajo dos estrategias de refrigeración blanqueo de la cubierta con dosis estándar y nebulización más blanqueo de la cubierta con dosis reducida (50 %)**



\* Lavado del blanqueo (76 ddt).

Fuente: Gázquez *et al.* (2007).

**Gráfico 15. Evolución de índice Trips Día Acumulada (TDA) en planta para un cultivo de pimiento bajo dos estrategias de refrigeración blanqueo de la cubierta con dosis estándar y nebulización más blanqueo de la cubierta con dosis reducida (50 %)**



\* Lavado del blanqueo (76 ddt).

Fuente: Gázquez *et al.* (2007).

## Referencias bibliográficas

- ANTIGNUS, Y.; LAPIDOT, M. y COHEN, S. (1999): «UV-Absorbing Plastic Films and Nets – An Innovative Tool of IPM to Reduce the Spread of Insect Pests and Virus Diseases in Covered Crops»; *Phytoparasitica* 27(1); pp. 76-77
- ANTIGNUS, Y.; NESTEL, D.; COHEN, S. y LAPIDOT M. (2001): «Ultraviolet-deficient greenhouse environment affects whitefly attraction and flight-behavior»; *Environ. Entom.* (30); pp. 394-399.
- AROCA, R. (2003): *Ensayo de un sistema de refrigeración evaporativa en un invernadero multitúnel*. Proyecto fin de carrera, Universidad de Almería; p. 147.
- BAKER, J. R. y SHEARIN, B. A. (1994): «An update on screening for the exclusion of insect pests»; *N. C. Flower Growers' Bull* 39(2); pp. 6-11.
- BARTZANAS, T.; BOULARD, T. y KITTAS, C. (2002): «Numerical simulation of the airflow and temperature distribution in a tunnel greenhouse equipped with insect-proof screen in the openings»; *Computers and Electronics in Agriculture* 34(1-3); pp. 207-221.
- BELL, M. L. (1997): «Select insect screens on their exclusion capability»; *Greenhouse Manag. Prod*; pp 29-31.
- BELL, M. y BAKER, J. R. (1997): «Select greenhouse screening materials for their ability to exclude insect pests»; *N. C. Flower Growers' Bulletin* 42(2); pp. 7-13.
- BELL, M. y WEATHERLEY, N. (1999): «Greenhouse insect screens - making the right selection»; *The Nursery Papers*.
- BERTHOLF, L. M. (1931): «The distribution of stimulative efficiency in the ultra-violet spectrum for the honeybee»; *J. Agr. Res.* (43); pp. 703-713.
- BETHKE, J. A.; REDAK, R. A. y PAINE, T. D. (1994): «Screens deny specific pests entry to greenhouses»; *California Agric.*; pp. 37-40.
- BROWN, P. E.; FRANK, C. P.; GROVES, H. L. y ANDERSON, M. (1998): «Spectral sensitivity and visual conditioning in the parasitoid wasp *Trybliographa rapae* (hym.: Cynipidae)»; *Bulletin of Entomological Research* (88); pp. 239-245.
- CRITTEN, D. L. y BAILEY, B. J. (2002): «A review of greenhouse engineering developments during the 1990s»; *Agricultural and Forest Meteorology* (112); pp. 1-22.

- CABELLO, T.; VAN DER BLOM, J. y SOLER, A. (2005a): «Efectos de los plásticos antiplagas sobre los insectos polinizadores en invernadero»; *Vida Rural* (219); pp. 40-42.
- CABELLO, T.; VAN DER BLOM, J. y SOLER, A. (2005b): «Luz ultravioleta, plásticos y visión en insectos»; *Actas IV Congreso Nacional de Entomología Aplicada*. Bragança; p. 226.
- CABELLO, T.; VAN DER BLOM, J.; SOLER, A. y LOPEZ, J. C. (2006): «Atractivos florales visuales en plantas hortícolas»; *II Jornadas de Polinización en Plantas Hortícolas*. Junta de Andalucía; pp. 37-48.
- CABRERA, F. J.; LÓPEZ, J. C.; BAEZA, E. y PÉREZ-PARRA, J. (2002): «Informe sobre caracterización de mallas antiinsecto»; *Almería Agrícola* (47); pp. 18-27.
- CABRERA, F. J.; LÓPEZ, J. C.; BAEZA, E. y PÉREZ-PARRA, J. (2006): «Efficiency of Anti-Insect Screens placed in the Vents of Almería»; *Greenhouses. Symposium on Greenhouse Cooling: methods, technologies and plant response*. Almeria.
- Chittka, L. y Thomson, J. D. (2001): *Cognitive Ecology of Pollination - Animal Behavior and Floral Evolution*. Cambridge University Press; p. 423.
- DÍAZ PÉREZ, M.; GALLARDO VILLANUEVA, D.; CARMONA MEDINA, J. J.; CAMACHO FERRE, F. y FERNÁNDEZ RODRÍGUEZ, E. J. (2003). «Utilización de mallas antiinsectos como protección de invernaderos mediterráneos»; en FERNÁNDEZ RODRÍGUEZ, E. J., ed.: *Innovaciones tecnológicas en cultivos de invernadero*. Madrid, ed. Agrotécnicas; pp. 165-175.
- DÍAZ, T.; ESPÍ, E.; FONTECHA, A.; JIMÉNEZ, J. C.; LÓPEZ, J. y SALMERÓN, A. (2001): *Los filmes plásticos en la agricultura agrícola*. Madrid, Mundi-Prensa, ed. Repsol.
- DYER, G. y CHITTA, L. (2004): «Bumblebee search time without ultraviolet light»; *J. Exp. Biol.* (207); pp. 1683-1699.
- FATNASSI, H.; BOULARD, T.; DEMRATI, H.; BOUIRDEN, L. y SAPPE, G. (2002): «Ventilation performance of a large Canarian-type greenhouse equipped with insect-proof nets»; *Biosystems Engineering* 82(1); pp. 97-105.
- FATNASSI, H.; BOULARD, T.; PONCET, C. y Chave, M. (2006): «Optimisation of greenhouse insect screening with computational fluid dynamics»; *Biosystems Engineering* (93); pp- 301-312.

- GÁZQUEZ, J. C.; LORENZO, P.; SÁNCHEZ, M. C.; LÓPEZ, J. C.; BAEZA, E. y PÉREZ-PARRA, J. (2006): «Bioproductivity response to different methods of greenhouse refrigeration in a sweet pepper crop»; *Symposium on Greenhouse Cooling: methods, technologies and plant response*. Almería.
- GÁZQUEZ, J. C.; SÁEZ, M.; LÓPEZ, J. C.; PÉREZ-PARRA, J. y BAEZA, E. (2007): *Influencia de tres sistemas de refrigeración en la presencia de plagas y en enfermedades en un cultivo de pimiento California*. Albacete, XI Congreso Nacional de Ciencias Hortícolas (SECH).
- GÁZQUEZ, J. C.; LÓPEZ, J. C.; BAEZA, E.; PÉREZ-PARRA, J.; MECA, D. y PARRA, A. (2009a): «Influencia de dos estrategias de refrigeración en la presencia de plagas y virus del bronceado del tomate en un cultivo de pimiento California en invernadero»; *Acta de horticultura* (54). Logroño, VI Congreso Ibérico de Ciencias Hortícolas (SECH); pp. 220-221.
- GÁZQUEZ, J. C.; LÓPEZ, J. C.; BAEZA, E.; PÉREZ-PARRA, J.; PÉREZ, C.; MECA, D. y ACOSTA, J. A. (2009b): «Screenhouses on the Mediterranean Basin: Pest Incidence and Productivity of a Tomato Crop»; *GreenSys 2009*. Québec, Canadá.
- GONZÁLEZ, A.; RODRÍGUEZ, R.; BAÑÓN, S.; FRANCO, J. A.; FERNÁNDEZ, J. A.; SALMERÓN, A. y ESPÍ, E. (2003): «Strawberry and cucumber cultivation under fluorescent photoselective plastic films cover»; *Acta Horticulturae* (614); pp. 407-414.
- GONZÁLEZ, F. (2008): *Transpiración de un cultivo de pimiento california bajo distintos niveles de radiación y déficit de presión de vapor*. Proyecto fin de carrera. Universidad de Almería.
- GONZÁLEZ-REAL, M. M. y BAILLE, A. (2006): «Plant response to greenhouse cooling. Proceedings of the international symposium on greenhouse cooling»; *Acta Horticulturae* (719); pp. 427-437.
- HANAFÍ, A.; BOUHARROUD, R.; MIFTAH, S. y AMOUAT, S. (2003): «Evaluation of different types of insect screens for the exclusion of whiteflies and natural enemies»; *IOBC/WPRS Bulletin* 26(10); pp. 43-48.
- HAND, D. W. (1984): «Crop responses to winter and summer CO<sub>2</sub> enrichment»; *Acta Horticulturae* (162); pp. 45-64.
- HOLLINGSWORTH, J. P.; HARTSTACK, A.W. y LINGREN, P. D. (1970): «The spectral response of *Campoplex perdistinctus*»; *J. Econ. Entom.* 63; pp. 1758-1761.

- JAFFRIN, A. y MAKHLONF, S. (1990): «Mechanism of light transmission through wet polymer»; *Acta Horticulturae* (281); pp. 11-24.
- JARVIS, W. R. (1997): *Control de enfermedades en cultivos de invernadero*. Madrid, ed. Mundi-Prensa.
- KITTAS, C.; BOULARD, T.; BARTZANAS, T.; KATSIOULAS, N. y MERMIER, M. (2002). «Influence of an insect screen on greenhouse ventilation»; *Transactions of the ASAE* 45(4); pp. 1083-1090.
- KLOSE, F. y TANTAU, H. J. (2004): «Test of insect screens-Measurement and evaluation of the air permeability and light transmission»; *Europ. J. Hort. Sci.* (69); pp. 235-243.
- KITTAS, C.; BOULARD, T.; MERMIER, M. y PAPADAKIS, G. (1996): «Wind Induced Air Exchange Rates in a Greenhouse Tunnel with Continuous Side Openings»; *J Agric. Eng. Res.* 65(1); pp. 37-49.
- LAPIDOT, M.; COHEN, S. y ANTIGNUS, Y. (2002): «Interferencia de la visión UV de los insectos: una herramienta IPM para impedir las epidemias de las plagas de insectos y las enfermedades virales asociadas con los insectos»; *Phytoma-España* (135); pp.172-176.
- LORENZO, P.; MAROTO, C. y CASTILLA, N. (1990): «CO<sub>2</sub> in plastic greenhouse in Almería (Spain)»; *Acta Horticulturae* (268); pp. 165-169.
- LÓPEZ, J. C.; PÉREZ, C.; SOLER, A.; PÉREZ-PARRA, J.; GÁZQUEZ, J. C.; MECA, D. y RODRÍGUEZ M. A. (2006): *Evaluación de tres materiales anti-plagas para cubierta de invernadero*; Granada, X Jornadas del grupo de horticultura; pp. 21-25.
- MAILLO, J. (2005): *Evaluación de distintos sistemas de refrigeración: Ventilación forzada, Nebulización y Encalado estándar bajo similares estructuras de invernadero multitúnel*. Proyecto fin de carrera. Universidad de Almería; p. 170.
- MECA, D.; LÓPEZ, J. C.; GÁZQUEZ, J. C.; BAEZA, E. y PÉREZ-PARRA, J. (2006): «Evolution of two cooling system in Parral type green house with pepper crops: Low pressure fog system verses whitening. Proceedings of the international symposium on greenhouse cooling»; *Acta Horticulturae* (719); pp. 515-520.
- MECA, D.; LÓPEZ, J. C.; GÁZQUEZ, J. C.; BAEZA, E. y PÉREZ-PARRA, J. (2007): *Efecto de dos dosis de blanqueo sobre la productividad y el microclima de un cultivo de pimiento en invernadero*. Albacete, XI Congreso Nacional de Ciencias Hortícolas (SECH).

- MECA, D. (2008): *Efecto de dos dosis de blanqueo sobre la productividad y el microclima de un cultivo de pimiento en invernadero*. Proyecto fin de carrera. Universidad de Almería
- MISTRIOTIS, A.; BOT, G. P. A.; PICUNO, P. y SCARASSCIA-MUGNOZZA, G. (1997): «Analysis of the efficiency of greenhouse ventilation using computational fluid dynamics»; *Agricultural and Forest Meteorology* 85(2); pp. 17-228.
- MOLINA-AIZ, F. D.; VALERA, D. L. y ÁLVAREZ, A. J. (2004): «Measurement and simulation of climate inside Almeria-type greenhouse using computational fluid dynamics»; *Agricultural and Forest Meteorology* (125); pp. 33-51.
- MONCI, F.; GARCÍA-ANDRÉS, S.; SÁNCHEZ, F.; MORCONES, E.; ESPÍ, E. y SALMERÓN, A. (2004): «Tomato yellow leaf curl disease control with UV-blocking plastic covers in commercial plastichouses of Southern Spain»; *Acta Horticulturae* (633); pp. 537-542.
- MONTERO, J. I.; ANTÓN A. y MUÑOZ, P. (1998): «Refrigeración de invernaderos»; en PÉREZ-PARRA, J. y CUADRADO, I. M., eds.: *Tecnología de invernaderos II*. Curso Superior de Especialización. FIAPA, Diputación Provincial de Almería y Junta de Andalucía; pp. 313-398.
- MUÑOZ, P. (1998): *Ventilación natural de invernaderos multitúnel*. Tesis doctoral. Universitat de Lleida.
- MUNOZ, P.; MONTERO, J. I.; ANTÓN, A. y GIUFFRIDA, F. (1999): «Effect of insect-proof screens and roof openings on greenhouse ventilation»; *J. agric. Engng. Res.* (73); pp. 171-178.
- PAPADAKIS, G.; BRIASSOULIS, D.; MUGNOZZA, G. S.; VOX, G.; FEUILLOLEY, P. y STOFFERS, J. A. (2000): «Radiometric and thermal properties of, and testing methods for, greenhouse covering materials»; *Journal Agricultural Engineering Research* 77(1); pp. 7-38
- PARRA, A. (2007): *Estudio de la influencia de la radiación solar y el déficit de presión de vapor sobre el cultivo de pimiento bajo distintas estrategias de refrigeración*. Proyecto fin de carrera. Universidad de Almería.
- PÉREZ-PARRA, J. J. (2002): *Ventilación natural en invernadero tipo parral*. Tesis doctoral. Universidad de Córdoba.
- PÉREZ-PARRA, J.; BAEZA, E.; LÓPEZ, J. C.; PÉREZ, C.; MONTERO, J. I. y ANTÓN, A. (2003): Effect of vent types and insect screens on ventilation of «Parral»greenhouses. *Acta Horticulturae* (614); pp. 393-400.

- PÉREZ-PARRA, J.; BAEZA, E.; MONTERO, J. I. y BAILEY, B. J. (2004): «Natural ventilation of Parral Greenhouses»; *Biosystems Engineering* 87(3); pp. 355-366.
- PÉREZ-PARRA, J.; AROCA, R.; ZARAGOZA, G.; BAEZA, E.; GÁZQUEZ J. C. y LÓPEZ, J. C. (2005): *Efecto de un sistema de nebulización de alta presión sobre el clima y la bioproduktividad de un cultivo de pimiento en invernadero* (I). Oporto, VI Congreso Ibérico Ciencias Hortícolas (SECH); pp. 315-321.
- PÉREZ, C.; LÓPEZ, J. C.; GÁZQUEZ, J. C.; MECA, D. E.; MARÍN, A.; BERMÚDEZ, M. S. y SOLER, A. (2007): *Influencia de los plásticos antiplagas sobre los polinizadores naturales de los cultivos hortícolas en invernadero*. Almería, XXXVII Seminario de Técnicos y Especialistas en Horticultura.
- PÉREZ, C.; LÓPEZ, J. C.; GÁZQUEZ, J. C.; MARÍN, A. y BERMÚDEZ, M. S. (2009): «Experiencias con plásticos antiplagas en cultivos de tomate y sandía»; *Acta de horticultura* (54). Logroño, VI Congreso Ibérico de Ciencias Hortícolas (SECH); pp. 204-205.
- RAPISARDA, C.; TROPEA, G.; CASCOTE, G.; MAZZARELLA, R.; COLOMBO, A. y SERGES, T. (2006): «UV-absorbing plastic films for the control of *Bemisia tabaci* (Gennadius) and Tomato Yellow Leaf Curl Disease (TYLCD) in protected cultivations in Sicily (South Italy). Proceedings of the international symposium on greenhouse cooling»; *Acta Horticulturae* (719); pp. 597-604.
- RODRÍGUEZ, E. (2006): *Determinación de la transpiración de un cultivo de pimiento bajo tres sistemas de refrigeración: ventilación forzada, nebulización y blanqueo*. Proyecto fin de carrera. Universidad de Almería.
- ROSS, D. S. y GILL, S. A. (1994): *Insect Screening for Greenhouses*. University of Maryland, Maryland Cooperative Extension; p. 21.
- SÁEZ, M. I. (2005): *Refrigeración de invernaderos mediante ventilación forzada y nebulización: efecto sobre clima y producción*. Proyecto fin de carrera. Universidad de Almería; p. 129.
- SOLER, A.; VAN DER BLOM, J. y CABELLO, T. (2005): «Efecto de cubiertos de invernadero UV absorbentes en el comportamiento de polinizadores (*Bombus terrestris* y *Apis mellifera*: Hymenoptera, apidae) en condiciones de bio-ensayo»; *Actas IV Congreso Nacional de Entomología Aplicada*. Bragança; p. 93.
- SALMERÓN, A.; ESPÍ, E.; FONTECHA, A. y GARCÍA-ALONSO, Y. (2001): «Fílmes agrícolas avanzados: un campo abierto»; *Actas I Simposio internacional de Plasticultura*.

- TEITEL, M.; BARAK, M.; BERLINGER, M. J. y LEBIUSH-MORDECHI, S. (2000): «Insect-proof screens: Their effect on roof ventilation and insect penetration»; *Acta Horticulturae* (507); pp. 25-34.
- TEITEL, M. (2001): «The effect of insect-proof screens in roof openings on greenhouse microclimate»; *Agric. Forest Meteorol.* (110); pp. 13-25.
- Teitel, M. (2006): «The effect of screens on the microclimate of greenhouses and screenhouses-a review. Proceedings of the international symposium on greenhouse cooling»; *Acta Horticulturae* (719); pp. 575-586.
- VARELA, F. (1974): *Los ojos de los insectos*. Bilbao, editorial Alhambra; p. 108.
- VALERA, D. L.; PEÑA, A.; MOLINA, F. D.; ÁLVAREZ, A. J.; LÓPEZ, J. A. y MADUEÑO, A. (2003): *Caracterización geométrica y mecánica de diferentes tipos de agro-textiles utilizados en invernaderos*. Resumen 2º Congreso Nacional de Agroingeniería; pp. 267-268.
- WEISS, H. B. (1943): «Color perception in Insect»; *J. Econ. Entom.* (36); pp. 1-17.

# Cultivo en suelo: características, corrección y desinfección

*Antonio José Céspedes López*

Estación Experimental de Cajamar 'Las Palmerillas'

## 1. El suelo

El suelo es la parte superficial de la corteza terrestre, el medio en el que se desarrollan las raíces y del cual extraen el agua y los elementos nutritivos que necesita la planta, además le sirve de soporte.

En el perfil del suelo por lo general se pueden distinguir tres capas u horizontes.

- Horizonte A o suelo propiamente dicho que es la capa más superficial, donde se encuentra la mayor parte de las raíces y está más enriquecido en nutrientes y materia orgánica.
- Horizonte B o subsuelo donde se encuentran las raíces más profundas. Tiene un nivel muy bajo de materia orgánica y puede estar enriquecido de nutrientes y sales procedentes de arrastres del horizonte superior.
- Horizonte C o roca madre forma la capa más profunda y constituido por rocas más o menos descompuestas.

### *1.1. Fertilidad del suelo*

Es la capacidad del suelo para suministrar todos y cada uno de los elementos nutritivos, en la forma, cantidad y momento adecuados a las exigencias del cultivo. El primer paso para cultivar un suelo es analizarlo. El análisis del suelo nos permitirá conocer el suelo y planificar la estrategia más adecuada para su manejo durante el cultivo.

## 1.2. Muestra de suelo

El punto crítico del análisis de suelo es la obtención de la muestra ya que tiene que ser lo más representativa posible del suelo. Para recolectar la muestra seguiremos las siguientes indicaciones:

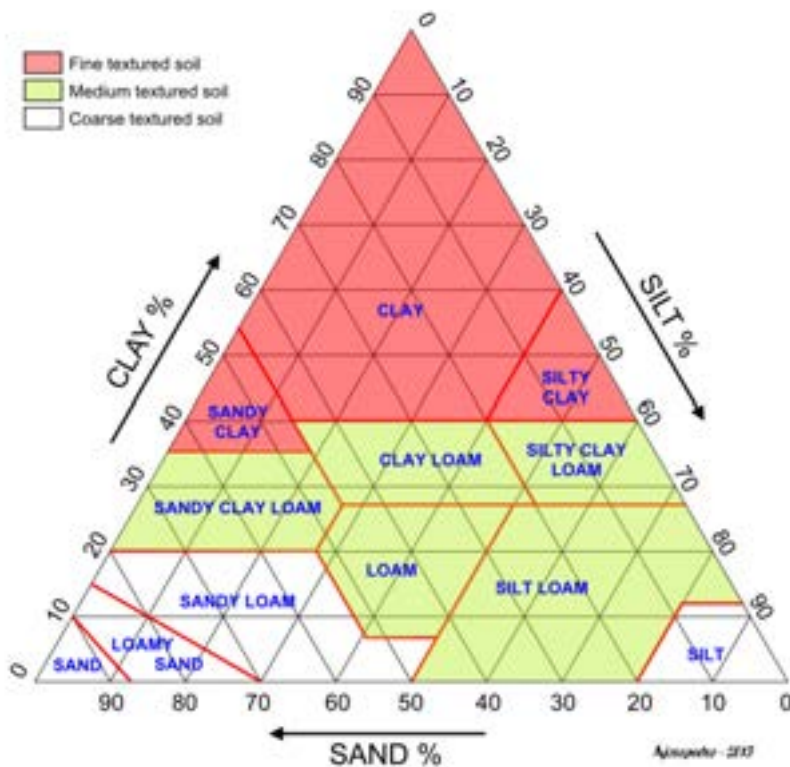
- Tomar la muestra después de la recolección y antes de abonar.
- Detectar zonas homogéneas dentro de la parcela, tomar muestras representativas de cada una y no mezclar las distintas zonas para comprender la heterogeneidad.
- Tomar la muestra en diversos puntos siguiendo un zigzageo por cada zona homogénea de la parcela.
- Desechar los dos primeros cm de suelo superficial y tomar una muestra entre los 2-20 cm del suelo (cultivos herbáceos de regadío). En las parcelas con riego por goteo, la muestra se recogerá de la zona húmeda del gotero. El número de submuestras por zona homogénea será de 10 a 15 muestras.
- No mezclar los diferentes horizontes o capas. Si en la calicata se observan los diferentes horizontes se extraerá la muestra del horizonte A. Si se desean analizar los diferentes horizontes, las muestras se extraerán de cada uno de ellos y se mezclarán sus muestras.
- Mezclar bien todas las muestras de zonas homogéneas y seleccionar entre 1 y 2 kg de cada mezcla para enviar al laboratorio.
- No usar herramientas galvanizadas o de bronce si se quieren analizar micronutrientes como cinc o cobre.
- No dejar las muestras al sol ni exponerlas a las altas temperaturas. Enviar cuanto antes al laboratorio.

Las determinaciones básicas son la textura, el pH, la conductividad eléctrica, la materia orgánica, los carbonatos, la capacidad de intercambio catiónico, el porcentaje de saturación de bases, el fósforo asimilable y potasio asimilable. La primera toma de contacto con nuestro suelo debería hacerse a través de un análisis completo y exhaustivo del mismo, para optar por el análisis básico con carácter anual como mínimo, para ir realizando el seguimiento y los ajustes necesarios del mismo.

### 1.3. El suelo óptimo

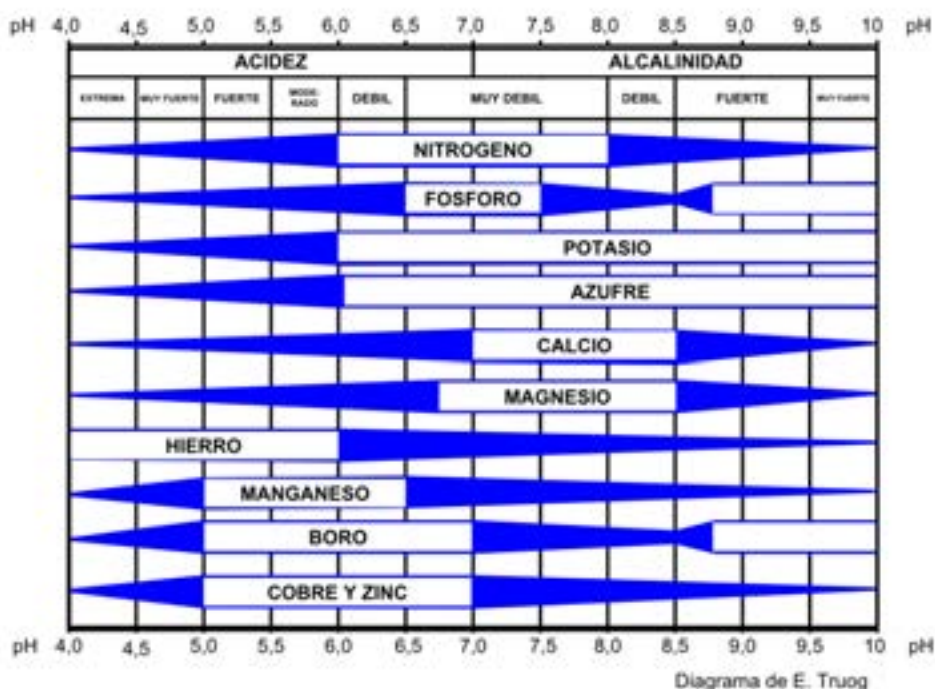
*Textura media*, texturas del tipo «franco limoso», «franco», «franco arcilloso arenoso», «franco arcillo limoso» y «franco arcilloso». Son suelos ligeramente pegajosos y plásticos cuando están mojados; suaves y firmes cuando están húmedos; y ligeramente duros cuando están secos. Tienen a formar agregados de tamaño pequeño a medio. Presentan una alta proporción de poros de tamaño medio a fino. Tienen una capacidad para retener agua y nutrientes entre moderada y alta.

Gráfico 1. Diagrama textural USDA



pH: está relacionado con la disponibilidad de nutrientes. El pH ideal debería rondar entre 6,5 - 7,5.

**Gráfico 2. Disponibilidad de los elementos nutritivos en función del pH y franja de pH óptimo**



*Conductividad eléctrica (CE<sub>e</sub>):* lo ideal es que sea inferior a 4dS/m. Por encima de ese valor estamos ante un suelo salino.

*Materia orgánica (MO):* es importante por la mejora que produce sobre las propiedades físicas de suelo (estructura, aireación), mejora la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y la actividad biológica del suelo. Lo óptimo en nuestras condiciones sería aspirar a tener un 2 % de materia orgánica.

*Relación C/N:* debe estar entre 8 y 12. Para valores por debajo de 8 se produce una fuerte liberación de nitrógeno y se podrían reducir los aportes del mismo. Si la relación es superior a 12 se produce una baja liberación de nitrógeno y por tanto habría que incrementar los aportes de nitrógeno.

*Carbonatos:* desempeñan un papel importante en la estructura de los suelos. Lo ideal son valores por debajo de 15 %, para aquellos superiores habrá que realizar la determinación de caliza activa. Para valores por encima del 20 % nos encontramos ante un suelo altamente calcáreo, revisar posibles pro-

blemas de fijación de P y prever una baja disponibilidad de Fe, Zn, Mn o Cu. El nivel de estos micronutrientes se debe comprobar, mediante el método DTPA. En estos suelos se recomienda usar fertilizantes de reacción ácida para aminorar el efecto de la alta concentración de carbonatos.

*Capacidad de intercambio catiónico (CIC):* depende estrechamente del contenido de arcilla y de MO del suelo. En la media en la que se incrementan estos dos componentes se incrementa CIC. Es la capacidad que tiene el suelo para retener cationes y se mide en meq/100g. Valores normales entre 10 y 20 meq/100g. Valores por debajo de 5 meq/100g indican bajos contenidos en MO, se trata de un suelo poco fértil. Por el contrario valores cercanos a 30 meq/100g indican que nos encontramos ante un suelo excesivamente arcilloso.

*Porcentaje de saturación de bases:* se refiere al porcentaje de cationes principales respecto al valor de la CIC total, esto es, en qué proporción se encuentran los diferentes cationes en el complejo de cambio. La Tabla 1 muestra una proporción ideal de los porcentajes de saturación de los principales cationes de cambio.

**Tabla 1. Proporción ideal de los porcentajes de saturación de los principales cationes**

| Catión   | Porcentaje de CIC (%) |
|----------|-----------------------|
| Calcio   | 60-80                 |
| Magnesio | 10-20                 |
| Potasio  | 2-6                   |
| Sodio    | 0-3                   |

*Fósforo asimilable:* contenidos de 30 ppm a 45 ppm, en suelos de textura media y uso en regadío (Método Olsen).

*Potasio asimilable:* contenidos de 140 a 220 ppm.

#### 1.4. Problemas que pueden presentar los suelos

El principal problema que presentan los suelos de regadío es la salinización. La acumulación de sales solubles en la zona radicular de los cultivos produce inicialmente un descenso de su rendimiento, puede afectar a la estructura del suelo (Na) y pueden presentar problemas de toxicidad (Na, Cl y B). El drenaje y el control del riego son las dos claves fundamentales para controlar la salinidad. En la Tabla 2 se enumeran los tres casos que se pueden presentar.

**Tabla 2. Problemas que pueden presentar los suelos**

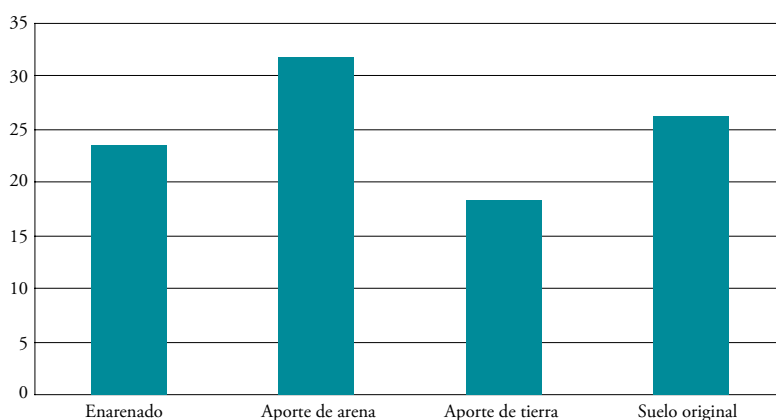
| Problema                                                                                                                                                | Indicios                                                                                     | Solución                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Suelos alcalinos                                                                                                                                        | $\text{pH} < 8,5$<br>$\text{CE}_{\text{es}} > 4 \text{ dSm}^{-1}$<br>$\text{PSI} < 15 \%$    | <ul style="list-style-type: none"> <li>Se pueden recuperar mediante lavado, si el agua es de buena calidad y el suelo no presenta problemas de drenaje. Los riesgos preferentemente serán por inundación. Si el agua no es de buena calidad para prevenir la salinización del suelo será necesario incrementar la cantidad de agua para arrastrar el exceso de sales.</li> <li>Solución: lavado</li> </ul>                                                                                |
| Suelos salino-sódicos                                                                                                                                   | $\text{pH} < 8,5$<br>$\text{CE}_{\text{es}} > 4 \text{ dSm}^{-1}$<br>$\text{PSI} > 15 \%$    | <ul style="list-style-type: none"> <li>Son de propiedades similares a los salinos y debido al exceso de sales las partículas permanecen floculadas. Si son lavados solo con agua se convertirán en suelos sódicos no salinos. Esto implicará el aumento del pH a niveles por encima de 8,5, aumenta el PSI y las partículas del suelo se dispersan reduciendo la infiltración. Si no existe yeso en el suelo será necesario una emmienda cálcica previa al lavado.</li> </ul>             |
| Suelos sódicos                                                                                                                                          | $\text{pH} > 8,5$<br>$\text{CE}_{\text{es}} < 4 \text{ dSm}^{-1}$<br>$\text{PSI} > 10-15 \%$ | <ul style="list-style-type: none"> <li>Debido al alto contenido en sodio existe una fuerte dispersión de las arcillas y la materia orgánica que reduce el drenaje. Para regenerarlos es necesario realizar operaciones que mejoren el drenaje y aportar enmiendas cálcicas o ácidas si el suelo contiene caliza y posteriormente lavar.</li> <li>Como enmiendas se utiliza: el yeso agrícola cuando el suelo es pobre en calcio y el azufre cuando el suelo es rico en calcio.</li> </ul> |
| En cualquier caso es aconsejable consultar con algún técnico sobre el problema para averiguar el origen del mismo y adoptar la estrategia más adecuada. |                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |

Fuente:

### 1.5. Preparación del suelo

El sistema de cultivo más generalizado en Almería se desarrolla en el suelo. En los años ochenta se introdujeron los primeros cultivos en sustratos, pero no se produce el despegue de los mismos hasta principios de los años 90. En la encuesta realizada en la campaña (2005/2006) la superficie de invernaderos con cultivo en sustrato alcanzaba el 20,4 %, el resto de la superficie de cultivo se realiza sobre el suelo, en la mayoría de las ocasiones sobre suelos altamente modificados.

**Gráfico 3. Distribución de los sistemas de preparación del suelo en los invernaderos de Almería. Encuesta 2005/2006. En porcentaje**



Una modificación que caracteriza la producción hortícola almeriense, es el empleo de la arena como *mulching* o acolchado. Este horizonte protector se utiliza en casi el 60 % de la superficie del cultivo en suelo y se denomina enarenado.

### 1.6. El enarenado

La utilización de la arena como acolchado para el cultivo fue anterior al establecimiento de los invernaderos. En los años 50, con la colonización del Poniente almeriense, se realizaron ensayos en la zona de Roquetas de Mar-El Parador (año 1957) para estudiar el comportamiento de diferentes especies hortícolas, variedades y ciclos, así como las posibilidades que la técnica del enarenado podía aportar a la nueva agricultura que se quería desarrollar en la zona. Esta técnica proporcionaba una serie de ventajas y cualidades que la hacía atractiva para el desarrollo de la horticultura.

### 1.7. Fundamento del enarenado

#### Calentamiento rápido del suelo

Con este sistema se produce un calentamiento del suelo mayor durante el día y menores pérdidas de calor durante la noche.

Estos efectos se producen por la poca capacidad calorífica del horizonte protector (arena, y en su mayor parte cuarzo) y su escasa capacidad de retención del agua. La conjunción de estos dos factores hace que el horizonte protector se caliente rápidamente y más durante el día. Este calor pasa por conducción a los horizontes inferiores, nutritivo e impermeable, donde se almacena, aunque la capa de arena se enfríe. Por ello, se observan incrementos importantes de la temperatura de más de 10 °C con respecto a terrenos que no tienen esta mejora.

Por otra parte, durante la noche hay una menor pérdida de calor del suelo (la arena se comporta como un cuerpo frío) y las plantas no están sometidas a las oscilaciones térmicas diurnas y nocturnas de un modo tan acusado como ocurre en los suelos no mejorados con el sistema del enarenado.

Además, la temperatura en torno a las plantas aumenta debido a las radiaciones solares reflejadas en la arena, lo que estimula la fotosíntesis y favorece el crecimiento y desarrollo del cultivo.

Estos aumentos de temperatura influyen positivamente en la precocidad de las producciones.

### Mantenimiento de la estructura

La arena tiene un importante papel al proteger el terreno frente a las acciones externas como son las pisadas de los operarios, las rodaduras de los carros y maquinaria de cultivo, manteniendo su estructura en las mismas condiciones de aireación y poder de retención hídrica iniciales. También la capa de arena evita el agrietamiento del terreno, tan perjudicial y corriente en los suelos salobres y arcillosos, eliminando la posible evaporación de humedad por las grietas y la acumulación de sales en esas superficies laterales.

### Potenciación de la actividad microbiana del suelo

Debido al aumento de la temperatura del suelo, a la disminución de las oscilaciones térmicas, al aporte de grandes cantidades de materia orgánica, al adecuado nivel de humedad que se consigue, a la reducción del pH y a la disminución de la salinidad del suelo. Todos estos factores influyen positivamente en la activación de la vida microbiana del suelo, en la fertilidad del mismo y en la solubilización de las sales.

## Disminución de la salinidad del suelo

En terreno arcilloso y salino como es, en general, el de la zona de enarenado, el efecto que se produce después de cada riego, es un movimiento ascendente del agua por capilaridad de los horizontes inferiores que van humedeciendo las capas más altas, al secarse estas por la evaporación, que en estas zonas es muy intensa debido a la temperatura elevada y a los vientos frecuentes.

Al producirse esta evaporación, las sales que se han ido disolviendo en las aguas, al lavar el terreno y las que llevaban ellas procedentes de los acuíferos, se acumulan en el suelo, creando por efecto de riegos sucesivos una capa en la zona superficial, con una concentración tan elevada en sales minerales, que su presión osmótica impide que las raíces de las plantas puedan absorber los elementos nutritivos del suelo, con lo que la vegetación se hace imposible.

El horizonte protector, al romper la capilaridad, reduce la evaporación a un límite bajo, del orden de un 30 % del normal, o inferior. Con ello la capa superior del terreno queda humedecida y no se produce en ella la peligrosa concentración de sales.

El movimiento del agua de riego y de la lluvia es descendente, con lo que las sales minerales se van arrastrando a capas inferiores.

Por otra parte, existe una producción notable de anhídrido carbónico a causa de la intensa actividad microbiana sobre un estiércol abundante y de alta relación C/N, que actúa de modo favorable en la solubilización de sales.

## Reducción de la evaporación

El horizonte protector rompe la ascensión capilar del agua en el terreno, impidiendo o disminuyendo enormemente gran parte de las fuertes evaporaciones del agua desde el suelo.

Como consecuencia, aparte del ahorro de agua en una zona donde es escasa y cara, el sistema de cultivo enarenado contribuye a regular la temperatura del suelo y a mantener más baja, homogénea y estable la concentración de las sales en el horizonte nutritivo y en el horizonte protector, donde se desarrolla gran parte del sistema radicular.

## Condensación de la humedad atmosférica

Si la arena, durante el día, se calienta en la superficie más rápidamente que la tierra, también se enfría con mayor rapidez por la noche. Esto produce una condensación de la humedad atmosférica que coadyuva a mantener ese grado de humedad tan necesario y evita descensos peligrosos de temperatura.

## Diferenciación del desarrollo del sistema radical de las plantas

Con el sistema de cultivo enarenado el desarrollo radical es muy diferente. La observación de los cultivos nos muestra que las raíces de las plantas apenas se introducen en el horizonte impermeable (suelo arcilloso), incluso aquellas con sistema radicular potente.

Cuando se trasplanta con cepellón se introduce en el horizonte impermeable bien con una barrena o con un almocafre, en esta circunstancia, la raíz profundiza algo más, pero rápidamente se desarrollan raíces laterales que son las verdaderamente funcionales.

En el cultivo del tomate es práctica normal el «rehundido», que consiste en enterrar en forma de acodo de 15 a 20 cm de la parte inferior del tallo, con el fin de aumentar la rizosfera.

Por consiguiente, el desarrollo radical se centra fundamentalmente en la zona del estiércol, zona baja de la arena y alta de la tierra; zonas, por otra parte, que se desalinizan más rápidamente y alcanzan más temperatura. Por esto, también se consigue cultivar en suelos de mala calidad, al tiempo que se obtienen cosechas más precoces y más abundantes.

La tierra no tiene la función clásica de acumuladora de agua y elementos nutritivos. Su función es fundamentalmente física, dificultando los movimientos verticales del agua, tanto ascendentes como descendentes. Lo que sí es imprescindible es dar a este horizonte la pendiente suficiente para que las aguas sobrantes puedan eliminarse.

### *1.8. Realización del enarenado*

En primer lugar se rotura el terreno y se realizan las operaciones necesarias para garantizar un buen drenaje de la parcela, subsolado, colocación de drenes, zanjas rellenas de cantos rodados, etc. Tras estas operaciones de acondicionamiento se rotura y nivela el suelo original. El nivelado se realiza en

bancales de poca pendiente, dos a tres por mil longitudinal y 0,5 por mil en transversal. Es conveniente que la superficie del bancel esté expuesta al mediodía, es decir, que las cotas más bajas correspondan al sur de la parcela y las más altas al norte.

**Figura 1. Orientación y pendientes más idóneas para los bancales**



Sobre la parcela nivelada se coloca una capa de 20 a 30 cm de suelo limo-arcilloso, franco-limoso exento de elementos gruesos. El aporte de tierra de «buena calidad» sobre el suelo original solo será necesario cuando, dentro del terreno a transformar exista una gran variabilidad en la calidad o cantidad de suelo disponible o que sus características fisicoquímicas no sean adecuadas para los cultivos que se vayan a implantar, no siendo necesario el aporte de nuevo suelo en los casos de suelos cultivados con anterioridad o de nueva preparación, con buen perfil, drenaje y fertilidad.

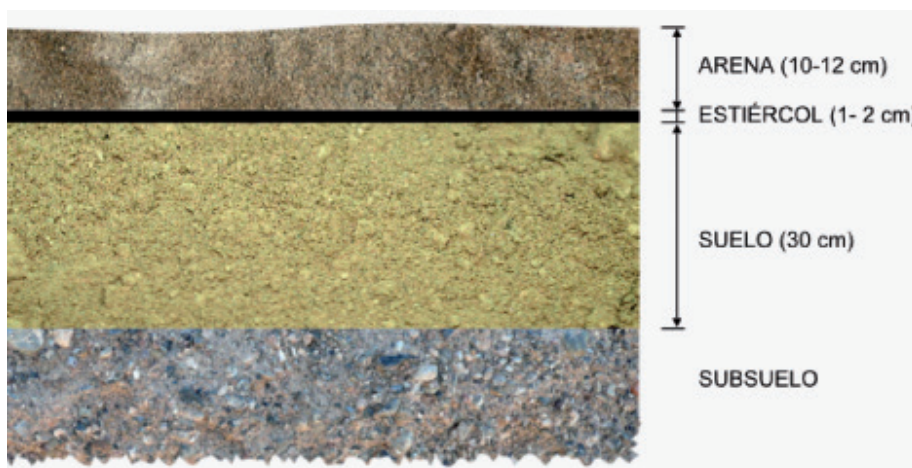
Se aprovecharán las labores previas a la ejecución del enarenado para hacer las correcciones de suelo que sean necesarias a la vista del análisis químico del mismo, especialmente aquellas mejoras o correcciones que requieran ser localizadas en profundidad.

Una vez nivelada la parcela, bien sea con o sin aporte de suelo, se procederá al extendido e incorporación, mediante una labor cruzada, de unas 40 t/ha de estiércol, siendo mejor para esta aplicación en concreto, que tenga una textura larga, con bastante fibra, y a media fermentación, al objeto de mejorar con preferencia, físicamente el suelo.

Tras estas labores se refinará y nivelará el terreno con las pendientes necesarias o convenientes, quedando el suelo preparado para recibir una capa de estiércol, en este caso, más fino, siendo el más apropiado el de oveja con

«cama», que sin llegar a ser pulverulento será repartido de forma homogénea en una capa de un espesor de unos dos centímetros. La cantidad incorporada en este segundo aporte será de otras 40 t/ha.

**Figura 2. Esquema de suelo enarenado**



*La Unión Europea con el fin de reducir la incidencia de la contaminación por nitratos procedentes de fuentes agrarias aprobó la Directiva 91/676/CEE que fue incorporada al ordenamiento jurídico español a través del Real Decreto 261/1996 de 16 de febrero sobre protección de las aguas contra la contaminación producida por los nitratos procedentes de fuentes agrarias. La Comunidad Autónoma de Andalucía por medio del Decreto 261/1998 procedió a designar las Zonas vulnerables a la contaminación por nitratos procedentes de fuentes agrarias en Andalucía. La Orden de 18 de noviembre de 2008 aprobó el programa de actuación aplicable a las zonas vulnerables. En ese programa se limita el aporte de estiércol (fertilizantes Grupo 1) por hectárea a la cantidad que contenga como máximo 170 Unidades Fertilizantes de Nitrógeno (170 kg de Nitrógeno).*

El aporte de la arena se hará depositando, convenientemente espaciadas, las cargas de arena calculando un espesor medio de la carga a esparcir, de unos 10 centímetros ( $10 \text{ m}^3$  cada  $100 \text{ m}^2$ ). El extendido puede hacerse con herramientas de mano, si la distancia es corta o con motocultor articulado, provisto de pala frontal o trasera.

Hay que cuidar el recorrido de los vehículos que transportan la arena y estiércol dentro de la parcela, de forma que la superficie compactada por las rodaduras sea mínima y, se tendrá dispuesto un tractor o motocultor con arado o rotavator, para una vez que no haya de volver a pasar por esa huella, labrarla y dejarla nivelada antes de extender sobre ella la capa del estiércol necesario y la correspondiente capa de arena, evitando así la compactación que provocará encharcamientos y dificultará el desarrollo radicular del cultivo.

Finalizado el extendido de la arena se proceder a dar un riego. Este riego debe ser por inundación, nunca por goteo, dado que hay que mojar por completo todo el perfil de la parcela, de una forma homogénea con un alto volumen de agua, pudiéndose aprovechar para hacer la desinfección química de la parcela.

**Figura 3. Roturado y despedregado**



**Figura 4. Nivelación de la parcela**



**Figura 5. Pilas de la tierra aportada**



**Figura 6. Extendido y nivelado de la tierra aportada**



**Figura 7. Pilas de estiércol para extender**



**Figura 8. Extendido del estiércol**



**Figura 9. Incorporación de los fertilizantes y correctores químicos necesarios**



**Figura 10. Labor de rotavator para envolver el estiércol, el fertilizante y el suelo aportado**



**Figura 11. Segunda capa de estiércol y pilas de arena**



**Figura 12. Extendido de la arena**



### *1.9. Características de la arena a emplear*

En la actualidad está prohibida la extracción de áridos de todo el litoral. Hoy día solo pueden utilizarse arenas procedentes de «canteras» o bolsas de arena de procedencia fluvial o marina en zonas fuera de la demarcación marítima, siempre con informe favorable respecto al impacto medioambiental que pudiera provocar su extracción. La granulometría ideal para las arenas de uso agrícola está entre los 2 y los 5 mm de diámetro.

A medida que disminuye el tamaño de los granos de la arena, también disminuye el tamaño de los poros entre los granos lo cual hace aumentar la capilaridad y consecuentemente favorece la evaporación del agua que asciende con el consiguiente enfriamiento del suelo subyacente y a la vez del entorno del sistema radicular de los cultivos. Ello condiciona también la precocidad del cultivo.

No son de aplicación agrícola las arenas procedentes de plantas de machaqueo, tanto por el objetivo de su mayor costo como por presentar aristas cortantes que pueden lesionar los tallos de las plantas al engrosar estos o moverse su tronco por el viento, labores de cultivo, recolección, etc.

La composición química de las arenas utilizadas en agricultura suelen ser en un alto porcentaje silícea (cuarzo y cuarcita) seguidas de carbonatos y arcillas metamórficas (pizarras). Estas arenas tienen escasa actividad química.

### *1.10. Manejo del enarenado*

Las siembras o plantaciones a efectuar en las parcelas así preparadas requieren el empleo de herramientas y sistemas de trabajo muy específicos o especiales. Para hacer la siembra de cualquier semilla, por ejemplo: judía, melón, sandía, calabacín o pepino, hay que dar un riego previo para procurar el tempero necesario para la germinación y emergencia de la plántula. Este riego puede hacerse con la red de riego localizado o por inundación, acordonando la arena para ahorrar agua y conducir esta solamente a las líneas que se van a sembrar.

La siembra se hará al día siguiente, si se trata de cucurbitáceas, con semillas pregerminadas o, sin pregerminar en los casos restantes. Para depositar la semilla se apartará con una herramienta la arena en el punto de siembra, depositando la semilla sobre el suelo original o aportado. Se volverá a cubrir el punto de la siembra con la misma arena que se había retirado. No se debe repetir el riego hasta que haya emergido toda la siembra.

**Figura 13**



Cuando la plantación se hace con plántulas procedentes de semilleros, en taco de substrato a base de mezclas de turbas, se hace después de haber dado un riego de preplantación y apartando la arena del punto donde irá la planta. A continuación se va marcando el terreno con una barra terminada en un tronco de pirámide invertida, de la misma forma y medida que el taco en que se ha criado la plántula, depositando esta en dicho hoyo, volviendo a reponer la arena retirada previamente y regando a continuación para que haya un mayor y mejor contacto entre el taco de siembra y el suelo.

El enarenado es una mejora semipermanente ya que transcurrido un cierto tiempo hay que proceder a la faena denominada localmente «retranqueo». El intervalo entre la realización del arenado y la necesidad de reponer la materia orgánica varía en función del número de cosechas y de las alternativas o sucesión de cultivos que se hayan realizado, sobre todo si se hacen cultivos de altos rendimientos como tomate, pimiento o berenjena, etc, y suele variar entre tres y cuatro años.

Para proceder al «retranqueo», se dejará transcurrir un cierto tiempo desde la terminación del cultivo anterior, pero sin arrancarlo, de forma que el suelo vaya perdiendo la mayor parte de su tempero, extraído por la transpiración del cultivo. Transcurrido ese tiempo se procederá al arranque del cultivo y limpieza de la arena (barrido de la hojarasca y restos de la cosecha) y, a continuación se apartará la arena en franjas acordonándolas y dejando expuesto el suelo.

Este es un buen momento , si no se ha hecho antes, para tomar muestras del suelo para su análisis con objetivo de calcular las necesidades de estiércol y de correctores químicos que fuesen necesarios.

El acordonado de la arena se hará con las mismas herramientas manuales o maquinaria citadas al hablar de la realización de arenado, dejando «calles» alternadas con y sin arena. El suelo se laboreará envolviendo con el mismo la mitad del estiércol que se aplicará junto con los correctores químicos necesarios. El resto del estiércol se depositará a modo de capa sobre el suelo ya laboreado. A continuación se extenderá la arena para sellar la franja y así sucesivamente, una franja tras otra hasta completar la parcela, terminando con un riego para asentamiento.

A partir del segundo retranqueo de una parcela enarenada, se hace necesario reponer una cierta cantidad de arena, que se habrá perdido, mezclándose con el suelo de soporte, en el transcurso de las labores de cultivo y faenas de retranqueo.

Un factor importante es la disminución de las tasas de infiltración de agua y la caracterización de la distribución del sistema radicular de un cultivo de tomate en suelo «retranqueado» y «sin retranquear», que ponen de manifiesto unas notables diferencias.

Respecto a la tasa de infiltración, medida con doble anillo de Muntz, Castilla Prados N. (1986) en la que obtuvo los valores de la Tabla 3.

**Tabla 3. Tasa de infiltración. En cm/h**

|                       |          |
|-----------------------|----------|
| Suelo retranqueado    | 8,28 (A) |
| Suelo sin retranquear | 0,38 (B) |
| Relación A/B          | 21,79    |

Fuente: Castilla Prados (1986).

La relación A/B nos indica la altísima proporción y cantidad de agua que es capaz de absorber un suelo retranqueado comparado con otro que no lo ha sido.

El «retranqueo» es una operación en desuso, se suele reemplazar «carillas», que consiste en laborear e incorporar el estiércol localizándolo solamente en una franja muy estrecha, justo la que va a ocupar la línea de plantación. Esta tendencia se justifica por el ahorro de mano de obra y costes.

**Figura 14. Abriendo las carillas de 1 m aprox.**



**Figura 15. Se esparce la materia orgánica**



**Figura 16. Se esparcen los fertilizantes**



**Figura 17. Aplicando un corrector o enmienda**



**Figura 18. Pase de rotovator para envolver**



**Figura 19. Se cierra la carilla y se riega**



## 2. Desinfección del suelo

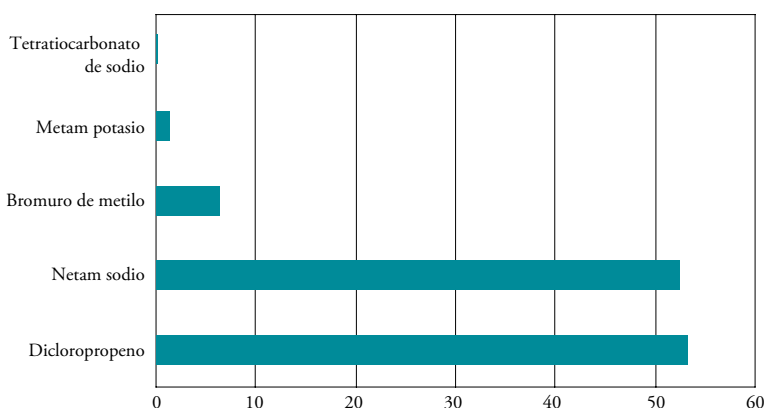
La desinfección del suelo es una práctica cultural generalizada y necesaria sobre todo cuando se práctica el monocultivo, campaña tras campaña. Es frecuente que el productor tienda a especializarse en determinados cultivos, con lo cual consigue mejorar la productividad y la calidad pero también acelera la fatiga o agotamiento del suelo, haciendo la desinfección del suelo más necesaria si cabe.

Tradicionalmente se han utilizado ampliamente productos fumigantes en la desinfección del suelo, entre ellos ha destacado el *Bromuro de metilo* (BM) por su efectividad, pero también por su peligrosidad. Debido a su efecto negativo sobre la capa de ozono, en 1992, en el Protocolo de Montreal fue registrado como sustancia que contribuye al deterioro de la capa de ozono. En 1995, en Viena se acuerda un calendario para la supresión del uso del BM a partir del 1 de enero de 2005 en el caso de los países desarrollados (Países Art. 2) y del 1 de enero de 2015 en los países en vías de desarrollo (Países Art. 5).

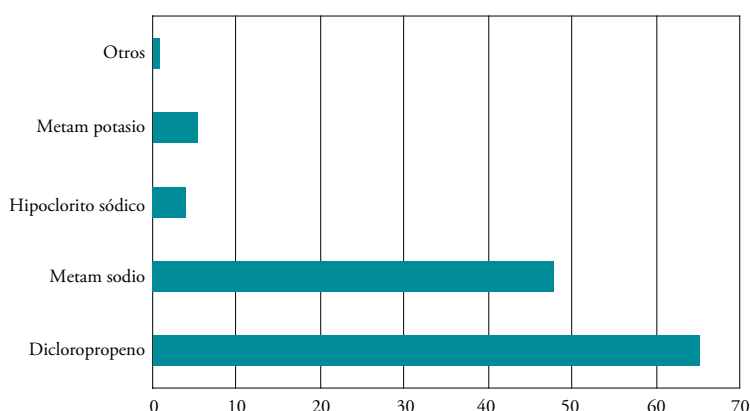
El relevo lo tomaron distintas formulaciones de 1,3 *dicloropropeno* junto con *cloropicrina*. Paralelamente a esta opción química ha existido una alternativa más respetuosa con el medioambiente y sin problemas de residuos, en la que se emplea el calor para la desinfección del suelo. Al principio a través de la inyección de vapor de agua y posteriormente aprovechando la radiación solar. Esta técnica es la solarización, puesta a punto por Katan en 1976 en Israel.

En la campaña 1999/2000, para caracterizar el sistema productivo bajo plástico, la Estación Experimental de Cajamar ‘Las Palmerillas’ a instancia de la FIAPA (Fundación para la Investigación Agraria en la Provincia de Almería) encuestó a 461 productores. Seis años más tarde en la campaña 2005/2006 se realizó una nueva encuesta en esta ocasión a 445 productores. Los resultados fueron los siguientes; entorno al 90 % de los productores realizan desinfección del medio de cultivo (campaña 1999/2000, el 89,4 % y en la campaña 2005/2006, el 91,7 %). En los cuadros siguientes se recogen las materias activas utilizadas en la desinfección del medio de cultivo.

**Gráfico 4. Materias activas utilizadas en la desinfección del medio de cultivo.  
Campaña 1999/2000. En porcentaje**



**Gráfico 5. Materias activas utilizadas en la desinfección del medio de cultivo. Campaña 2005/2006. En porcentaje**



La aplicación de los productos fumigantes se realiza junto con el agua de riego aportando un volumen importante para humeder el mayor volumen de suelo posible, salvo con el bromuro de metilo que debido a su peligrosidad se aplicaba sellando el terreno con plásticos VIF (Virtualmente impermeables). En esta técnica el papel del plástico es el de barrera que impide el escape de gases y de este modo se mejora la eficacia del tratamiento. Posteriormente se generalizó también el uso del plástico con el resto de fumigantes para mejorar la eficiencia con una dosis reducida de producto. En la tabla siguiente se recogen los sistemas utilizados en la campaña 2005/2006.

**Tabla 4. Combinaciones de los diferentes sistemas de desinfección de suelos o medios de cultivo. En porcentaje**

|                      | Desinfección química | Solarización mixta | Solarización pura |
|----------------------|----------------------|--------------------|-------------------|
| Desinfección química | 23,5                 | 6,9                | 1,8               |
| Solarización mixta   |                      | 51,5               | 7,8               |
| Solarización pura    |                      |                    | 8,3               |

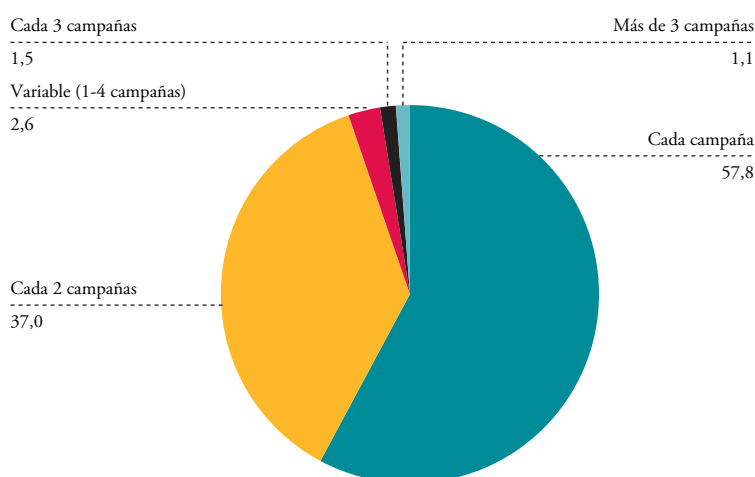
El 83,3 % de los productores utiliza preferentemente un único sistema de desinfección de suelos, el más generalizado es la solarización mixta con el 51,5 % de los productores, seguido por el 23,5 % de los productores que

utilizan la desinfección química. Solo el 8,3 % de productores confían en el uso del agua sola y practican solarización pura. El 16,5 % de los productores suelen combinar dos sistemas, el 7,8 % utilizan solarización pura y solarización mixta, el 6,9 % utilizan solarización mixta y desinfección química. Por último el 0,2 % de los productores que realizan desinfección de suelos utilizan los tres sistemas.

### Frecuencia con la que practican la desinfección de suelos

El valor medio se sitúa en 1,5, es decir, se realiza la desinfección cada campaña y media.

**Gráfico 6. Frecuencia con la que se realiza la desinfección de suelos.  
Campaña 2005/2006. En porcentaje**



### Situación actual

En el reglamento específico de producción integrada de cultivos hortícolas protegidos (Orden de 10 de octubre de 2007 de la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía) se establece como práctica obligatoria la desinfección del suelo mediante solarización y/o biofumigación, con plástico transparente y con la cubierta totalmente cerrada. Solo se podrán utilizar tratamientos químicos, en casos técnicamente justificados y autorizados por el organismo oficial correspondiente.

Con la puesta en práctica de la Directiva 91/414 para el caso de los fumigantes agrícolas. Dicha directiva estableció que las sustancias agroquímicas no pueden utilizarse si no quedaban incluidas en una lista positiva (Anexo I). Entre la materias activas quedaron fuera del anexo citado figuran las siguientes:

- 1,3 dicloropropeno (1,3-D) (Telone®, Telone II®, DD®, y otras).
- Cloropicrina (Pic)).
- Tetratiocarbonato de sodio (Enzone®).

Estos fumigantes se han continuado utilizando al amparo autorizaciones excepcionales solicitadas en base al artículo 53 del Reglamento 1107/2009 disposición vigente en materia de comercialización de productos fitosanitarios que deroga la Directiva 91/414.

Entre los fumigantes incluidos en la lista, por el momento, figuran los de la Tabla 5.

**Tabla 5. Fumigantes**

| Materia activa | Categoría toxicológica | Sistema aplicación        | Fungicida | Nematicida | Herbicida | Insecticida | Manejo | Peligrosidad | PS días |
|----------------|------------------------|---------------------------|-----------|------------|-----------|-------------|--------|--------------|---------|
| Dazomet 98 %   | XN(AC)                 | A voleo con incorporación | XXX       | XXX        | XX        | XXX         | XXX    | B            | NP      |
| Metam-Na       | B(BB)                  | Inyección agua de riego   | XX        | X          | X         | XXX         | XX     | M            | NP      |
| Metam-K        | B(BB)                  | Inyección agua de riego   | XX        | X          | X         | XXX         | XX     | M            | NP      |

*Nivel de eficacia: X = regular; XX = buena; XXX = muy buena.*

*Peligrosidad: B = bajo; M = medio; A = alto.*

Una clasificación de las opciones actualmente disponibles sería la siguiente:

- Sistemas sostenibles y respetuosos con el medioambiente.
  - Solarización, biofumigación, biosolarización y vapor de agua.
- Sistemas basados en fumigantes.
  - Desinfección química y solarización mixta.

## 2.1. Sistemas sostenibles y respetuosos con el medioambiente

### 2.1.1. Vapor de agua

Es un sistema eficaz si se utiliza correctamente. Se aprovecha el efecto desinfectante del calor húmedo sobre las formas vivas del suelo, especialmente sobre los patógenos. La temperatura que se suele alcanzar es del orden de 80 y 90 °C, empleándolo durante una hora como mínimo. El principal inconveniente es el coste, es un sistema caro. En Almería no se utiliza.

### 2.1.2. Solarización

La técnica consiste básicamente en recubrir el terreno, después de regado, durante el verano, con una lámina plástica de polietileno de un espesor comprendido entre 25 y 50 µm, por un período que oscila entre 4 y 6 semanas. Con este procedimiento, en Israel se han conseguido temperaturas de 45-50 °C a una profundidad de 10 cm y de 38-45 °C a 20 cm (Katan, 1980). Según estudios realizados en EEUU, en algunas zonas de California, por este procedimiento se llegan a alcanzar 60 °C a 5 cm, 50 °C a 15 cm, 41 °C a 30 cm, etc. (Cenís, 1987). En el SE de España, con acolchado de polietileno bajo cubierta de invernadero o pequeño túnel, se rebasaron los 41 °C a 30 cm de profundidad (Martínez *et al.*, 1986). La eficacia de la misma se mejora con la combinación con productos químicos (solarización mixta) u orgánicos (biosolarización).

Presenta las siguientes ventajas:

- Es una técnica ecológica.
- Económica.
- Al ser menos drástica evita el vacío ecológico.
- Evita el ataque químico del plástico de la cubierta.

Será tanto más efectiva cuanto más tiempo dure el proceso y más temperatura se alcance durante el mismo. En la Tabla 6 se muestra la sensibilidad térmica de algunos hongos fitopatógenos en condiciones constantes de laboratorio hasta alcanzar la muerte del 90 % de los individuos.

**Tabla 6. Sensibilidad térmica de alguno hongos fitopatógenos**

| Hongo                                            | 28 °C | 31 °C | 34 °C | 37 °C | 40 °C | 43 °C | 46 °C | 50 °C  |
|--------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| <i>Verticillium dahliae</i>                      | +60d  | 46d   | 11d   | 8d    | 2d    | 30h   | 2h    | 10 min |
| <i>Sclerotinia sclerotiorum</i>                  | 30d   | 11d   | 4d    | 4d    | 2d    | 30h   | 1/2h  | 5 min  |
| <i>Rhizoctonia solani</i>                        | 27d   | 23d   | 18d   | 14d   | 8d    | 18h   | 1h    | 10 min |
| <i>Phytophthora solani</i>                       | +60d  | 46d   | 41d   | 27d   | 18d   | 36h   | 2h    | 10 min |
| <i>Fusarium oxysporum</i><br>var <i>gladioli</i> | +60d  | +60d  | 46d   | 41d   | 35d   | 42h   | 6h    | 20 min |
| <i>Fusarium oxysporum</i><br>var <i>gladioli</i> | +60d  | 52d   | 41d   | 30d   | 30d   | 18h   | 4h    | 10 min |

\* d: días; h: horas; min: minutos.

Fuente: Baeza y Fernandez (2010).

Se trata por tanto de alcanzar altas temperaturas y mantenerlas, en este cometido el nivel de humedad es importante, ya que el calor específico del agua es mayor que el del aire, la temperatura del suelo será más constante siempre y cuando se mantenga húmedo. Para mantener estas condiciones, es preciso que el sellado del suelo con el plástico sea lo más estanco posible para evitar pérdidas de aire y de humedad. No es conveniente realizar riegos durante el periodo de solarización ya que se produce un consumo extra de agua y se baja la temperatura del suelo. También es conveniente mantener cerradas las ventanas del invernadero. Si el plástico de cubierta está al final de su vida útil lo cambiaremos después de realizar la solarización.

La solarización hay que realizarla durante el periodo de mayor radiación, en nuestras condiciones iría desde mediados de junio hasta finales de agosto (77 días). Para que la solarización sea efectiva deberemos mantener temperaturas por encima de los 40 °C. El tiempo que durará la misma será de unas cuatro semanas como mínimo (28 días) aunque lo ideal sería unas seis semanas (42-45 días).

**Figura 20. Colocando los plásticos**



**Figura 21. Invernadero solarizando**



**Figura 22. Grapa para sujetar las láminas de plástico**



Para realizar la solarización seguiremos los siguientes pasos:

- Lavar la cubierta del invernadero de restos de encalado, polvo o suciedad.
- Eliminar las malas hierbas, los restos del cultivo anterior, los elementos que puedan perforar la lámina de plástico y los terrones. El suelo se debe quedar nivelado y mullido. En los suelos enarenados se binara la arena para emparejarla y tapar los hoyos del cultivo anterior.
- Regar abundantemente. Hay que humedecer un perfil de 30-40 cm. Es preferible regar por inundación. Este riego puede servir para lavar los frentes salinos del riego localizado. Si se utiliza el sistema de riego localizado, el riego se dará en dos tandas, tras la primera tanda se moverán los ramales portagoteros para cubrir la totalidad del terreno, se colocará la lámina de plástico y se dará la segunda tanda.
- En suelos sin arena, en el momento en que se pueda pisar, cubrir con una lámina de plástico transparente de 20 a 50 micras. Debe quedar en contacto con el suelo sin formar bolsas, perfectamente extendido y estanco. En los bordes se asegurará el plástico con surcos profundos. Hay que tener en cuenta que se pierde cierta efectividad en una franja de unos 60 cm de ancho en los bordes.
- Cerrar el invernadero mientras dura la solarización.
- Se mantendrá el plástico entre 30 y 60 días.

## Inconvenientes

No presenta un buen control sobre los nematodos endoparásitos formadores de nódulos (*Meloidogyne* spp), algunas malas hierbas y algunos hongos fitopatógenos que se localizan en las capas profundas del suelo (*Armillaria*).

### 2.1.3. Biofumigación o biodesinfección

En la biofumugación se utilizan la materia orgánica y los residuos agrarios, así como productos de su descomposición para el control de los patógenos vegetales de origen edáfico. La acción de los microorganismos sobre la materia orgánica durante su descomposición produce una gran cantidad de productos químicos entre los que se encuentran amonio, nitratos, ácido sulfhídrico y un gran número de sustancias volátiles y ácidos orgánicos.

La biofumigación presenta las siguientes ventajas:

- Reutiliza residuos de la agroindustria.
- Bajo coste
- Fácil aplicación
- Se incorpora materia orgánica al suelo.

La eficacia de las enmiendas orgánicas para el control de nematodos y otros patógenos del suelo depende de su composición química, propiedades físicas y evolución en el suelo, lo que viene determinado por el tipo de microorganismo implicado en su descomposición. Se necesitan cantidades importantes de materia orgánica del orden de 50 t ha<sup>-1</sup>. Esto ya es un aspecto que puede dificultar su puesta en práctica debido a la limitación de no sobrepasar la cantidad por hectárea de fertilizantes orgánicos (estiércol) que contenga un máximo de 170 UFN. Para hacer posible la práctica existe una instrucción de 1 de junio de 2009 de la Dirección General de Producción Agrícola y Ganadera por la que se establecen las cantidades máximas de estiércol/purín por unidad de superficie permitidas en las zonas designadas como vulnerables en Andalucía. Según la citada instrucción el Instituto de Investigación y formación Agraria y Pesquera de la Consejería de Agricultura y Pesca, estimó que si el estiércol (fresco) se utiliza en biofumigación sellado con lámina de plástico (biosolarización) durante 30 días, la flora microbiana que se desarrolla provoca pérdidas de nitrógeno de hasta un 40 % lo que da pie a subir las dosis en un 66 %.

**Tabla 7. Cantidades máximas de estiércol por unidad de superficie permitidas en las zonas vulnerables**

| Actividad ganadera                                         | Contenido N kgN/m <sup>3</sup> t estiércol (fresco) | Pérdidas de N (%) (Biofumigación) |               | Dosis máxima de estiércol (t/ha) |            |               |
|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------|---------------|----------------------------------|------------|---------------|
|                                                            |                                                     | Valorización                      | Biofumigación | Fresco                           | Valorizado | Biofumigación |
| Cerda en ciclo cerrado                                     | 3,78                                                | 0,50                              | 0,40          | 44,92                            | 89,85      | 74,87         |
| Cerda con lechones hasta destete (< 6 kg)                  | 3,00                                                | 0,50                              | 0,40          | 56,74                            | 113,48     | 94,57         |
| Cerda con lechones (< 20 kg)                               | 3,01                                                | 0,50                              | 0,40          | 55,05                            | 110,09     | 91,75         |
| Cerda de reposición                                        | 3,40                                                | 0,50                              | 0,40          | 50,00                            | 100,00     | 83,33         |
| Lechones de 6-20 kg                                        | 4,40                                                | 0,50                              | 0,40          | 38,72                            | 77,44      | 64,54         |
| Cerdo de 20-50 kg                                          | 3,51                                                | 0,50                              | 0,40          | 48,49                            | 96,99      | 80,82         |
| Cerdo de 50-100 kg                                         | 3,22                                                | 0,50                              | 0,40          | 52,79                            | 105,59     | 87,99         |
| Cerdo de cebo de 20-100kg                                  | 3,37                                                | 0,50                              | 0,40          | 50,41                            | 100,83     | 84,02         |
| Verracos                                                   | 2,60                                                | 0,50                              | 0,40          | 65,31                            | 100,48     | 108,85        |
| Vaca de ordeño                                             | 3,69                                                | 0,50                              | 0,40          | 46,09                            | 70,91      | 76,82         |
| Otras vacas                                                | 3,70                                                | 0,50                              | 0,40          | 45,90                            | 70,61      | 76,50         |
| Cebadero ternero cebo <12 meses                            | 6,90                                                | 0,50                              | 0,40          | 24,65                            | 37,92      | 41,08         |
| Cebadero bovino cebo>12 meses                              | 4,00                                                | 0,50                              | 0,40          | 42,50                            | 65,38      | 70,83         |
| Gallina puesta, pollo, pavo                                | 9,75                                                | 0,50                              | 0,40          | 17,44                            | 34,87      | 29,06         |
| Cabras cubiertas sin partos, cabras paridas y macho cabrío | 5,06                                                | 0,50                              | 0,40          | 33,59                            | 47,98      | 55,98         |
| Chivos                                                     | 4,01                                                | 0,50                              | 0,40          | 42,37                            | 60,53      | 70,61         |
| Cebadero de corderos                                       | 4,00                                                | 0,50                              | 0,40          | 42,50                            | 60,71      | 70,83         |
| Ovejas cubiertas sin partos, ovejas paridas y morueco      | 4,05                                                | 0,50                              | 0,40          | 42,00                            | 60,00      | 70,00         |

Fuente: instrucción de 1 de junio de 2009 de la D G de Producción Agrícola y Ganadera de la Junta de Andalucía.

El empleo de plásticos en biofumigación se conoce como biosolarización y persigue potenciar los efectos de la biofumigación y por tanto reducir la cantidad de materia orgánica o disminuir el tiempo que se mantienen los plásticos en relación a la solarización.

- Aporte de la materia orgánica y se realiza una labor de enterrado en profundidad.

Alternativas de aportes orgánicos:

- Mezcla de estiércoles + nitrógeno (estiércol de oveja 4 a 6 kg más de 2 a 4 kg de gallinaza más 80 g urea/m<sup>2</sup>).

- Preparados comerciales.
- Introducción de un cultivo en la rotación. Una siembra espesa de brásicas, colza, nabo, rabanetas, etc, que deberán segarse justo antes de iniciar la floración. Seguidamente se triturará con un pase de rotavator, se añadirá urea o sulfato amónico, a una dosis de unos 80 a 100 g/m<sup>2</sup>. Ya continuación se enterrará en profundidad, mejor a 40 que a 30 cm.
- Regamos humedeciendo todo el perfil homogéneamente. Tanto en el riego como en los que resta (colocación del plástico) procedemos igual que con la solarización.

## Inconvenientes

Bello *et al.* (2003) afirma que el mayor problema en el uso de enmiendas orgánicas es la heterogeneidad en la composición de las materias utilizadas, siendo necesario su total conocimiento evitando la acumulación de compuestos que podrían resultar perjudiciales, así como el aumento del nivel de inóculo de algunos patógenos.

## 2.2. Desinfección química

Ha sido uno de los sistemas más utilizados por su sencillez y efectividad. Los productos químicos que se emplean en la desinfección pasan a estado gaseoso en el momento de ser liberados, por lo que cubrir el terreno con una lámina de plástico para impedir que los gases escapen puede ser una medida interesante.

### 2.2.1. Consideraciones para realizar desinfección química

- Retirar los restos vegetales de la cosecha anterior. La pudrición de las raíces es necesaria para un buen control nematicida.
- Desmenuzar perfectamente la tierra, evitar los terrones.
- Mantener un buen grado de humedad en el terreno durante 8-14 días antes del tratamiento para:
  - Facilitar la descomposición de los restos vegetales y liberar los nematodos.

- Favorecer la germinación de las semillas.
- Que los organismos causantes de la fatiga del terreno no pasen a formas o estadios resistentes.
- No efectuar fuertes estercoladuras poco antes del tratamiento, disminuye la eficacia de los productos al reaccionar el amoníaco con algunos componentes de los fumigantes.

El producto se aplicará buscando un reparto uniforme del mismo.

*Desinfección mixta o solarización mixta.* Utiliza la desinfección química pero se utilizan además láminas de plástico para aumentar la efectividad del tratamiento. El uso de los plásticos tiene las siguientes ventajas:

- Menor pérdida de desinfectante y por tanto ahorro.
- Incremento de la eficacia debido a menores pérdidas de producto y al incremento de la temperatura del suelo.
- Se disminuye el riesgo de intoxicación dentro del invernadero.
- Se disminuye el deterioro químico de las cubiertas de los invernaderos.

Por ejemplo se puede utilizar Metam sodio a mitad de dosis y solarizando de 30 a 40 días.

### 2.2.2. Consideraciones antes de sembrar o transplantar

- Asegurarse de que no quedan residuos de gases en el suelo, realizando labores de aireación del mismo.
- Respetar el plazo de espera entre tratamiento y puesta del cultivo.
- Al realizar la labor de aireación evitar mezclar la capa desinfectada con la más profunda.
- En suelos enarenados, debido a que no se realizan operaciones de aireación, incrementar el período de espera un 50 %.
- Para más seguridad efectuar un test de germinación con semillas de crecimiento rápido (lechuga, berro, etc.).

### 3. Fumigantes disponibles

#### 3.1. Dazomet (Basamid®)

La materia activa es tetrahidro-3,5-dimetil-1,3,5-tiadiazina-2-tiona.

Producto granulado. Se utiliza como fungicida, herbicida, insecticida, nematocida y esterilizante. Dosis de aplicación de 350-500 kg/ha.

El producto actúa al entrar en contacto con la humedad del suelo (hidrólisis), un contenido insuficiente de agua puede retardar su descomposición y causar baja eficacia del tratamiento y problemas de fitotoxicidad al cultivo. Aplicar en terrenos con al menos 50 % de humedad a capacidad de campo. Si el suelo está seco regar de 7 a 14 días antes de dar el tratamiento. No utilizar en invierno o si el suelo está excesivamente húmedo.

Tras la incorporación al suelo se sella la superficie para evitar pérdidas de gases desde el suelo por evaporación. Es recomendable la cobertura con *film* plástico si se quiere asegurar un excelente resultado del tratamiento (tener cuidado con los gases), se evitan pérdidas a la atmósfera y el producto trabaja con mayor temperatura. El espesor del *film* a utilizar debe ser de al menos 50 micras.

En su lugar, se puede recurrir al sellado mecánico por el paso de un rodillo con peso sobre la superficie del suelo y luego una lámina de riego es suficiente para sellar la porosidad superficial (5-7 l/m<sup>2</sup>), dependiendo del tipo de suelo.

Dar una labor ligera de 14-28 días después del tratamiento. Si se ha utilizado plástico, retirar el mismo y dejar de 5 a 7 días airear el suelo.

Su persistencia es de 6-8 semanas.

Fecha de caducidad: 31/05/2015.

#### 3.2. Metam sodio (Laysol®, Lucafum® 516, Vapam® HL, y otras) y Metam potasio (K-Pam®, y otras)

N-metilditiocarbamato potásico y N-metilditiocarbamato sódico.

Se utilizan fundamentalmente para controlar hongos de raíz (*Fusarium*, *Verticillium*, *Pythium*, *Rhizoctonia*, etc.) pero también tienen cierta acción herbicida, nematocida e insecticida. El segundo se recomienda sobre todo para suelos salinos con el fin de no aumentar el nivel de sodio del mismo, la dosis de aplicación suele ser de 100 kg por cada 1.000 m<sup>2</sup> de producto comercial

formulado al 50 %. y el tiempo de dosificación debe ser el mismo que en el caso del dicloropropeno.

En este caso no hay que utilizar un gotamix o venturi ya que no se dañan los filtros y se puede inyectar desde la misma abonadora del cabezal de riego.

El tiempo de espera a dosis normales es como mínimo un mes.

## Anexo. Cálculo de la dosis de agua para la solarización

Los valores habría que multiplicarlos por la profundidad real del suelo. En los enarenados la profundidad oscila entre 0,2 y 0,3 m. No obstante, las cantidades que aparecen en la Tabla 8 son las que habría que restituir en el caso de que el suelo se hubiese secado hasta alcanzar el límite inferior de humedad y, sin embargo, esto no es lo usual sino que desde el último riego del cultivo anterior se habrá consumido un porcentaje de esa agua. Se puede estimar ese consumo calculando la evapotranspiración que se ha producido en ese período. Durante los primeros días transcurridos tras el último riego, el valor de la evaporación desde el suelo se puede considerar igual a la evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>), cuyo dato diario se puede obtener de la Red de Información Agroclimática de Andalucía. En suelos enarenados ese valor disminuye como consecuencia del efecto aislante que realiza la arena al frenar el ascenso por capilaridad del agua. Este porcentaje de disminución dependerá del espesor de la capa de arena y del estado en que se encuentre (suciedad, apelmazamiento, etc.).

**Tabla 8. Cantidades para restituir el suelo secado**

| Textura del suelo     | IHD (mm/m) |
|-----------------------|------------|
| Arenosa               | 50 -110    |
| Arenoso-limosa        | 60 -120    |
| Franco-arenosa        | 110-115    |
| Franca                | 130-180    |
| Franco-limosa         | 130-190    |
| Limosa                | 160-200    |
| Franco-arcillo-limosa | 130-180    |
| Franco-arcillosa      | 170-210    |
| Arcillo-limosa        | 130-190    |
| Arcillosa             | 120-200    |

\* *Intervalo de Humedad Disponible (IHD) = humedad capacidad de campo - humedad en el punto de marchitamiento.*

Fuente: Allen *et al.* (1998) y Pastor (2005).

A título orientativo en suelos enarenados podemos considerar una evaporación del suelo igual al 50 % de la ETo. Ejemplo de cálculo (Baeza *et al.*, 2010): disponemos de un invernadero con suelo enarenado en el municipio de Vícar (Almería) en el que se ha finalizado el cultivo anterior el día 2 de junio de 2010. El último riego se ha realizado el día 31 de mayo y el invernadero se va a solarizar el día 7 de junio. Queremos saber la dotación de agua que habrá que aplicar al solarizar.

**Tabla 9. ETo diaria registrada en la estación agroclimática de La Mojonera (Almería)**

| Fecha     | ETo (mm) |
|-----------|----------|
| 1/06/2010 | 6,99     |
| 2/06/2010 | 5,21     |
| 3/06/2010 | 5,31     |
| 4/06/2010 | 5,61     |
| 5/06/2010 | 6,22     |
| 6/06/2010 | 6,46     |
| 7/06/2010 | 4,35     |

Sumamos los datos durante la semana y obtenemos una ETo total de 40,15 mm. Dado que el suelo está enarenado estimamos una reducción del 50 % y obtenemos una Evapotranspiración de:

$$ET = 40,15 \times 0,5 = 20,07 \text{ mm}$$

La dotación de riego sería, por tanto, de 20,07 l/m<sup>2</sup>.

Para calcular la duración del riego debemos conocer el marco y el caudal de los emisores. Supongamos que el invernadero cuenta con una red de riego con 2 emisores de 3 l/h por m<sup>2</sup>. En este caso la instalación aporta un caudal de 6 l/h.

El tiempo de riego será por tanto:

$$T = 20,07/6 = 3 \text{ horas y } 20 \text{ min.}$$

## Referencias bibliográficas

- BAEZA CANO, R. y FERNÁNDEZ FERNÁNDEZ, M. (2010): «Solarización de cultivos hortícolas bajo abrigo: Técnicas adecuadas de manejo para una mayor eficacia del método»; *Boletín trimestral de información al regante* (16). Instituto de Investigación y Formación Agraria y pesquera, Consejería de Agricultura y Pesca; pp. 6-7.
- BELLO, A.; LÓPEZ-PÉREZ, J. A.; GARCÍA-ÁLVAREZ, A. y DÍAZ-VIRULICHE, L. (2003): «Biofumigación y control de los patógenos de las plantas»; en BELLO, A.; LÓPEZ-PÉREZ, J. A.; GARCÍA-ÁLVAREZ, A., EDS.: *Biofumigación en agricultura extensiva de regadío*. Fundación Ruralcaja Alicante, Mundi-Prensa; pp. 343-362.
- BRETONES CASTILLO, F. (2003): «El Enarenado»; en Francisco Camacho Ferrer, coord.: *Técnicas de producción en cultivos protegidos*. Caja Rural Intermediterránea, Cajamar.
- CASTILLA, N.; ELIAS, F. y FERERES, E. (1990): «Caracterizaciónh de condiciones climáticas y de relaciones suelo-agua-raíz en el cultivo enarenado del tomate en invernadero en Almería»; *Investigación agraria: producción y protección vegetal* 5(2); pp. 259-271.
- CÉSPEDES, A. J.; GARCÍA, M. C.; PÉREZ PARRA, J. y CUADRADO, I. M. (2010): *Incidencia de la solarización en la desinfección de los suelos de la horticultura protegida de Almería*. Almería, I Congreso Virtual Iberoamericano de Producción integrada en Horticultura.
- DEL CASTILLO, J. A.; URIBARRI, A.; AGUADO, G.; ASTIZ, M. y SÁDABA (2012): «Guía de biofumigación y solarización de suelos en invernaderos»; *Navarra agraria*; pp. 21-22.
- GARCÍA VILLAR, L. (1982): «Desinfección de suelos»; *Horticultura. Revista de industria, distribución y socioeconomía hortícola: frutas, hortalizas, flores, plantas, árboles ornamentales y viveros* (3); pp. 15-17.
- GONZÁLEZ, J. A.; BELLO, A. y TELLO, J. (1997): «La biofumigación como alternativa a la desinfección de suelos»; *Horticultura internacional* (17); pp. 41-43.
- LÓPEZ GARCÍA, C. (1999): «Desinfección de suelos en invernadero»; *Horticultura. Revista de industria, distribución y socioeconomía hortícola: frutas, hortalizas, flores, plantas, árboles ornamentales y viveros* (139); pp. 31-34.

- SANZ DE GALDEANO, J.; URIBARRI, A.; SÁDABA, S.; AGUADO, G. y DEL CASTILLO, J. (2002): «Biofuminación en invernadero»; *Navarra agraria*; pp. 25-29.
- SERRANO CERMEÑO, Z. (1976): «Hojas divulgadoras del Ministerio de Agricultura»; *Los enarenados y su realización* (9/10-76 HD).
- ZAPATER LILLA, J. (1989): «Desinfección de suelos»; *Horticultura. Revista de industria, distribución y socioeconomía hortícola: frutas, hortalizas, flores, plantas, árboles ornamentales y viveros* (50); pp. 142-144.

# Uso del agua de riego en los cultivos en invernadero

*María Dolores Fernández Fernández<sup>(a)</sup>, Rodney B. Thompson<sup>(b)</sup>,  
Santiago Bonachela Castaño<sup>(b)</sup>, María Luisa Gallardo Pino<sup>(b)</sup>  
y María Rosa Granados García<sup>(b)</sup>*

<sup>a</sup>Estación Experimental de Cajamar ‘Las Palmerillas’ y <sup>b</sup>Universidad de Almería

## 1. Introducción

El agua utilizada en la agricultura supone en torno a dos tercios de toda el agua usada en el mundo, porcentaje que suele ser mayor en zonas áridas y semiáridas con fuerte desarrollo agrícola, como el litoral mediterráneo español. En un futuro próximo, la mayor necesidad de alimentos, derivada del esperado aumento de la población mundial y la mejora de su calidad de vida, conducirá a una mayor demanda de agua para regar los cultivos y aumentará la competencia por este cada vez más escaso recurso. En este contexto, hay una creciente demanda social por un uso más productivo y sostenible del agua y por un mejor conocimiento de su uso en la agricultura, el principal usuario.

La provincia de Almería ha padecido durante décadas un fuerte déficit estructural de agua, que ha originado un progresivo agotamiento de los acuíferos de la zona (Sánchez-Martos *et al.*, 1999). La agricultura en invernadero, con unas 27.000 ha que aportan más del 90 % de la producción final vegetal de Almería, es la principal usuaria de agua en la provincia. En este contexto, la Estación Experimental de Cajamar ‘Las Palmerillas’, junto con las universidades de Almería y Córdoba, ha desarrollado desde principios de los años 90 una línea de investigación prioritaria con el objetivo de cuantificar y analizar el uso del agua en los cultivos en invernadero, y generar métodos y herramientas que permitan mejorar su eficiencia y productividad.

## 2. Origen del agua

La mayoría del agua de riego usada en los invernaderos de Almería es de origen subterráneo (80 % de estas explotaciones utilizan agua subterránea, Céspedes *et al.*, 2009), lo que ha provocado la sobreexplotación de los acuífe-

ros de la zona. En los últimos años, como en otras zonas áridas y semiáridas del mundo, se ha impulsado el uso de fuentes de agua alternativas. El agua depurada reciclada se utiliza, en la actualidad, como fuente primaria de riego en unas 2.000 ha de invernaderos de la Vega de Almería y, en un futuro próximo, está previsto reutilizar gran parte de las aguas depuradas del Campo de Dalías. Sería aconsejable mejorar la calidad de dichas aguas, ya que los tratamientos primarios, secundarios o terciarios que se realizan son, con frecuencia, insuficientes o inadecuados (Bonachela *et al.*, 2007). El agua desalinizada, a pesar de su mayor coste, también se está introduciendo progresivamente en zonas deficitarias o con aguas de mala calidad del Levante de Almería. El agua de lluvia recogida de las cubiertas de los invernaderos es, en la actualidad, una fuente secundaria de agua en numerosas explotaciones. La extensión de esta práctica a toda la superficie invernada ayudaría a paliar sustancialmente el déficit de agua de riego, ya que la lluvia del litoral de Almería supone casi el 50 % de las necesidades hídricas de las principales rotaciones de cultivo en invernadero (Fernández *et al.*, 2007). La recogida del agua de condensación en los invernaderos puede ser otra fuente alternativa, sobre todo en las zonas más frías. En invernaderos del valle del Almanzora hemos recogido anualmente hasta 40 L m<sup>-2</sup> de agua condensada, aunque en zonas más cálidas (El Ejido) las cantidades recogidas fueron inferiores. Por último, la reutilización de los drenajes de los cultivos en sustrato, práctica generalizada en los invernaderos centroeuropeos, reduciría claramente las necesidades de agua y, sobre todo, reduciría los problemas de contaminación de aguas y de suelos en la zona.

### 3. Sistemas de riego y almacenamiento de agua

Los invernaderos de Almería disponen de sistemas de riego que permiten distribuir agua y fertilizantes de forma uniforme (Céspedes *et al.*, 2009). Sin embargo, la uniformidad de la distribución del agua de riego, determinada mediante el coeficiente de uniformidad (Merriam y Keller, 1978), ha sido, generalmente, baja y apenas ha mejorado en las últimas décadas: Orgaz *et al.* (1986) encontraron un coeficiente de uniformidad medio del 76 % en los invernaderos del Campo de Dalías, mientras que, recientemente, Lupiáñez (2009) ha determinado un coeficiente de uniformidad medio del 77 % en la misma zona. Ambos valores están por debajo del mínimo obligatorio (85 %) del reglamento de producción integrada de cultivos hortícolas protegidos de Andalucía (Orden de 10 octubre de 2007, BOJA núm. 211). Teniendo en

cuenta que la mayoría de los invernaderos ocupan superficies llanas y que las subunidades de riego suelen ser pequeñas, la uniformidad de distribución del agua de riego debería incrementarse mejorando el manejo y el mantenimiento de los sistemas de riego: regulación y control de presiones en las subunidades, reparación de fugas y limpieza de la red, manejo de balsas y filtros, etc. (Lupiañez, 2009).

La mayoría de las explotaciones de invernaderos disponen de balsas de riego (83,5 %, Céspedes *et al.*, 2009) para garantizar el suministro hídrico a los cultivos, que son, en general, pequeñas y sin cubrir (21,7 % cubiertas). En la provincia de Almería se han inventariado 8.730 balsas mayores de 150 m<sup>2</sup>, que ocupan unos 6,17 km<sup>2</sup> y que están concentradas en las zonas invernadas (Casas *et al.*, 2011). El ahorro de agua estimado que supondría cubrir todas las balsas con mallas plásticas sería de unos 6,9 hm<sup>3</sup>, considerando una evaporación media anual de 1.404 L m<sup>-2</sup>. Sin embargo, el coste del agua ahorrada cubriendo las balsas sería menor que el coste de cubrirlas en la mayoría de zonas invernadas (Martínez Álvarez *et al.*, 2009). Por otro lado, en zonas con escasos ecosistemas acuáticos naturales, como el litoral de Almería, las balsas de riego abiertas desempeñan una importante función medioambiental de conservación de la biodiversidad (Casas *et al.*, 2011).

#### 4. Aportes de agua de riego

El aporte medio de agua de riego a los principales cultivo hortícolas en suelo (sin incluir el tomate), medidos durante 6 campañas agrícolas consecutivas (1993/94-1998/99) en 41 invernaderos representativos del Campo de Dalías (Fernández *et al.*, 2007), fue de 228 L m<sup>-2</sup> por ciclo de cultivo y osciló entre 158 L m<sup>-2</sup> en la judía verde de otoño-invierno y 363 L m<sup>-2</sup> en el pimiento de otoño-invierno (Tabla 1). En un estudio similar en el Campo de Níjar el aporte medio a un tomate de otoño-primavera fue de 558 L m<sup>-2</sup> (Carreño *et al.*, 2000). Estos valores son claramente inferiores a los aportes a dichos cultivos al aire libre (Fernández *et al.*, 2007), debido, sobre todo, a la menor demanda evaporativa en el invernadero (menor radiación solar y velocidad de viento), en comparación al aire libre (Orgaz *et al.*, 2005), y a que los cultivos hortícolas en invernadero suelen desarrollarse en ciclos centrados en invierno, mientras que al aire libre los ciclos suelen estar centrados en verano (Orgaz *et al.*, 2005).

Los aportes por campaña agrícola son generalmente mayores que por ciclo de cultivo, al ser frecuentes las rotaciones anuales de dos cultivos. Los aportes

medios a las principales rotaciones de cultivo en invernadero del Campo de Dalías oscilaron entre 363 (pimiento de otoño-primavera) y 502 L m<sup>-2</sup> (pimiento de otoño-invierno + melón de primavera), con un valor promedio de 444 L m<sup>-2</sup> (Fernández *et al.*, 2007). Los aportes totales anuales suelen ser aún mayores, ya que es común realizar riegos de desinfección, lavado de sales y mantenimiento del sistema de riego entre campañas agrícolas. Considerando estos riegos suplementarios (Peña, 2009), el valor medio estimado del aporte total anual es de 495 L m<sup>-2</sup> en el campo de Dalías.

#### 4.1. Indicadores del uso del agua de riego

El análisis del uso del agua de riego en la agricultura se realiza mediante una serie de indicadores establecidos internacionalmente (Malano y Burton, 2000) y los más representativos a escala de explotación/parcela son:

- *Aporte relativo de agua de riego*: cociente entre el agua de riego aportada (L m<sup>-2</sup>) y la requerida para cubrir las necesidades del cultivo (L m<sup>-2</sup>).
- *Productividad del agua de riego* (euros m<sup>-3</sup>): cociente entre el valor económico generado por el cultivo (euros m<sup>-2</sup>) y el agua de riego aportada (m<sup>3</sup> m<sup>-2</sup>).
- *Eficiencia en el uso del agua de riego* (kg m<sup>-3</sup>): cociente entre el rendimiento comercial del cultivo (kg m<sup>-2</sup>) y el agua de riego aportada (m<sup>3</sup> m<sup>-2</sup>).

El valor medio del aporte relativo de agua de riego en los principales cultivos hortícolas del Campo de Dalías fue de 1,13 (Fernández *et al.*, 2007), lo que significa que los agricultores aportaron, de media, un 13 % más de agua de las necesidades de sus cultivos. Se trata de un valor medio aceptable, ya que los agricultores buscan maximizar el rendimiento y la calidad de sus productos. Sin embargo, hubo una elevada variabilidad en cada ciclo de cultivo (altos coeficientes de variación) y entre ciclos (Tabla 1). Así, el aporte relativo medio al pepino fue de 1,63, es decir, este cultivo, de media, fue regado muy excedentariamente. Además, los aportes relativos de agua de riego fueron muy excedentarios durante la fase de establecimiento de todos los cultivos y, en menor medida, durante la de desarrollo de los mismos (Fernández *et al.*, 2007). Este indicador muestra que podemos mejorar el uso de agua en los invernaderos ajustando los aportes a los requerimientos hídricos.

La productividad del agua de riego osciló entre 7,8 y 15,9 € m<sup>-3</sup> (Tabla 1), valores muy superiores a los de otras zonas regables andaluzas y españolas (Lorite *et al.*, 2004), debido a los menores aportes de agua y, sobre todo, a la elevada productividad y valor económico de las hortalizas en invernadero.

La eficiencia media en el uso del agua de riego osciló entre 15,3 y 35,6 kg m<sup>3</sup> (Tabla 1), valores inferiores a los medidos en cultivos en sustratos en invernaderos centroeuropeos. En cambio, estos valores son, en general, mayores que en los mismos cultivos al aire libre, debido a los menores aportes de agua y a la mayor productividad en invernadero (Fernández *et al.*, 2007).

**Tabla 1. Valores medios (coeficiente de variación entre paréntesis) de aportes y aportes relativos de agua de riego (RIS), y la eficiencia en el uso (IWUE) y productividad del agua de riego (WP) en los principales ciclos de cultivo hortícolas en los invernaderos del Campo de Dalías. Se presentan valores del RIS para todo el ciclo de cultivo y para tres periodos a lo largo del mismo: establecimiento del cultivo (1); desarrollo del cultivo (2); y desde mitad hasta final del ciclo (3)**

| Ciclos       | Aportes (L m <sup>-2</sup> ) | RIS       |      |      | IWUE (kg m <sup>-3</sup> ) | WP (€ m <sup>-3</sup> ) |
|--------------|------------------------------|-----------|------|------|----------------------------|-------------------------|
|              |                              | Ciclo     | 1    | 2    | 3                          |                         |
| Pimiento O-I | 311 (32)                     | 0,95 (36) | 2,78 | 1,27 | 0,91                       | 21,0(40)                |
| Pepino       | 270 (40)                     | 1,62 (40) | 3,53 | 1,48 | 1,20                       | 33,2(52)                |
| Judía O-I    | 158 (33)                     | 1,18 (24) | 4,28 | 1,06 | 0,76                       | 15,3(45)                |
| Melón        | 177 (31)                     | 1,00 (39) | 3,52 | 1,19 | 0,52                       | 22,8(34)                |
| Sandía       | 189 (38)                     | 0,92 (33) | 2,41 | 1,27 | 0,42                       | 35,6(34)                |
| Judía P      | 197 (24)                     | 1,03 (28) | 4,25 | 1,80 | 0,60                       | 16,8(31)                |
| Pimiento O-P | 363 (30)                     | 1,02 (27) | 4,85 | 0,88 | 0,68                       | 16,9(23)                |

\* O: otoño; I: invierno; P: primavera.

## 5. Programación del riego en invernadero

La programación del riego es un conjunto de procedimientos técnicos desarrollados para predecir cuándo y cuánto riego aplicar para cubrir las necesidades de los cultivos, y su importancia se pone de manifiesto cuando el agua es un recurso escaso y su coste es elevado. La programación del riego se puede realizar a partir de medidas del contenido de agua en el suelo, medidas del estado hídrico de la planta o a partir de datos climáticos.

### 5.1. Programación del riego mediante sensores

Los sensores que miden el estado hídrico del suelo y de la planta pueden usarse como base para el manejo del riego o para complementar otros métodos. Estos sensores permiten adaptar el manejo del riego a las características particulares de cada cultivo/finca. Hasta finales de los 80, la mayor parte de estos sensores requerían medidas manuales y su uso en fincas comerciales era muy limitado. El desarrollo tecnológico reciente ha permitido una nueva generación de sensores con nuevas prestaciones. Actualmente la información sobre el estado hídrico del suelo y la planta puede ser enviada directamente a un ordenador personal, teléfonos móviles o controladores de riego y activar el riego. En invernadero, debido a la elevada frecuencia del riego y a la baja demanda evaporativa, el medio de cultivo se mantiene continuamente húmedo. La pequeña superficie de las fincas y la intensividad del manejo de los invernaderos favorecen el uso de las tecnologías de monitorización.

#### 5.1.1. Programación del riego con sensores de humedad del suelo

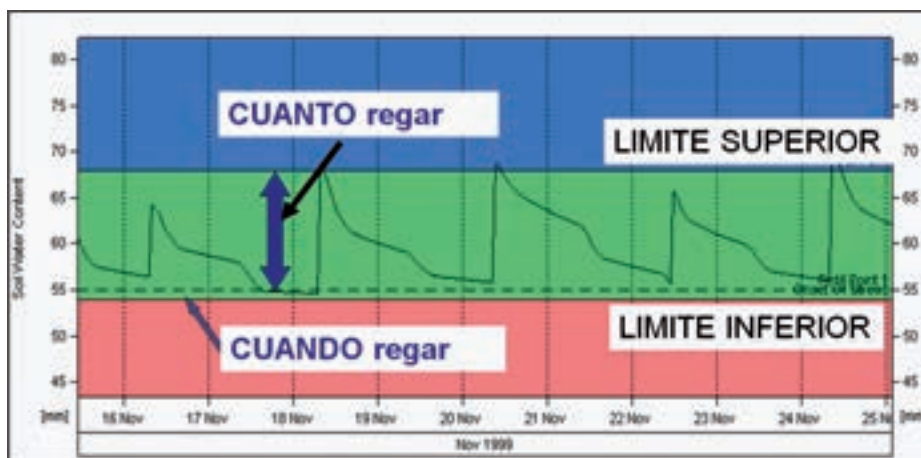
Los sensores de humedad en el suelo miden (i) la humedad volumétrica del suelo ( $\Theta_v$ ) o (ii) el potencial matricial del suelo ( $\Psi_m$ ). La  $\Theta_v$  es la proporción del volumen de suelo ocupado por agua. El  $\Psi_m$  indica la disponibilidad de agua para los cultivos (Gallardo y Thompson, 2003a). La  $\Theta_v$  es una medida que necesita interpretación (Thompson y Gallardo, 2003). Los sensores de suelo pueden ser de lectura manual o automática, lo cual permite obtener información más detallada de la dinámica de uso del agua por el cultivo y su movimiento en el suelo. Los sensores de suelo se pueden usar con distintas configuraciones (Thompson y Gallardo, 2003); un sensor debe estar siempre en la zona de máxima concentración de raíces. Se pueden colocar más sensores en profundidades diferentes, p. ej.: debajo de las raíces para controlar drenaje.

El manejo del riego con sensores se basa en mantener la humedad del suelo entre dos límites, uno inferior que indica los valores más secos del suelo cuando se debe iniciar el riego y un límite superior que indica los valores más húmedos que se permiten. La diferencia entre los dos límites es una indicación del volumen de riego requerido (Figura 1).

## Sensores que miden el potencial matricial del suelo

En condiciones no salinas, el  $\Psi_m$  es una buena aproximación al potencial hídrico total del suelo ( $\Psi_s$ ); el  $\Psi_m$  mide la fuerza con la que el agua es retenida por las partículas del suelo e indica la disponibilidad de agua del suelo para la planta. En condiciones salinas (en suelos o agua), el potencial osmótico puede contribuir apreciablemente al  $\Psi_s$ . La contribución de la salinidad a este potencial se maneja en campo de forma independiente. Algunos autores y fabricantes de equipos han indicado los límites superiores e inferiores entre los cuales debe encontrarse el  $\Psi_m$  en la zona radicular para la producción hortícola en suelo; se establecen diferencias entre la textura, la especie de cultivo y las condiciones evaporativas. En el caso de hortalizas bajo invernadero con riego de alta frecuencia, recomendaciones generales de los intervalos de  $\Psi_m$  son entre -10 y -20 kPa, -10 y -30 kPa, y -20 y -40 kPa para suelos de textura gruesa, media y fina respectivamente.

**Figura 1. Ejemplo del mantenimiento de la humedad del suelo entre límites**

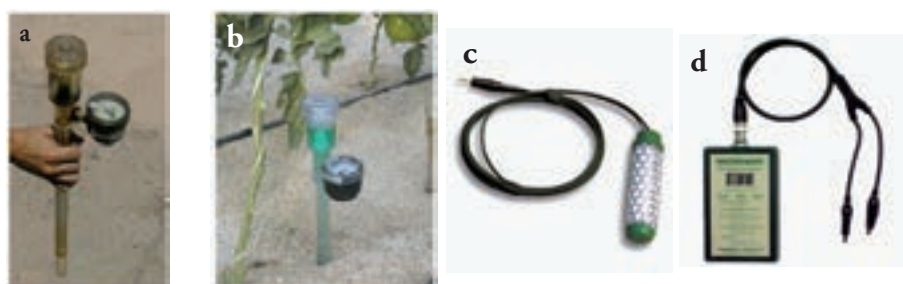


Hay dos grupos de sensores de potencial matricial que son relevantes para cultivos hortícolas protegidos: tensiómetros, y sensores de matriz granular. Los tensiómetros son baratos, simples y fáciles de utilizar. Requieren una preparación y mantenimiento adecuado para proporcionar datos exactos y fiables (Thompson y Gallardo, 2003). Hay (i) tensiómetros manuales en los cuales se obtienen datos a partir de la lectura visual de un vacuómetro, (ii) tensiómetros manuales con un interruptor para activar el equipo de riego cuando se alcance

un valor predeterminado, y (iii) tensiómetros eléctricos que tienen transductores de presión que permiten medir continuamente y automáticamente los datos y que pueden actuar como controladores de riego. Los tensiómetros, normalmente tienen un rango de trabajo de 0 a -80 kPa. Este reducido rango es una limitación en algunos sistemas de cultivo, pero generalmente en cultivos hortícolas protegidos el  $\Psi_m$  se mantiene dentro de esos límites. Hay ciertas excepciones, cuando la demanda evaporativa y la superficie foliar son altas como por ejemplo en cultivo de melón en mayo-junio en el sureste español.

Los sensores de matriz granular son sensores de resistencia eléctrica y están formados por una matriz con dos electrodos. El más común es el Watermark (Irrometer Co. California, USA). El agua dentro de la matriz se equilibra con la del suelo. La medida de la resistencia eléctrica entre los dos electrodos es una función del potencial matricial del suelo. Son sensores baratos, simples, fáciles de instalar con pocos requisitos de preparación y mantenimiento. El rango de medida es -10 a -200 kPa. El rango es más amplio que el de los tensiómetros pero no son muy fiables en suelos muy húmedos (0 a -10 kPa) y tienen una respuesta lenta en suelos que se secan rápidamente (Thompson *et al.*, 2006). En general son menos exactos que los tensiómetros pero necesitan menos atención por parte del usuario. Las lecturas se toman manualmente con un equipo lector o automáticamente y tienen una vida útil de 5-7 años.

**Figura 2. Tensiómetro manual (a) e instalado en suelo enarenado (b), sensor Watermark (c) y lector del sensor Watermark (d)**

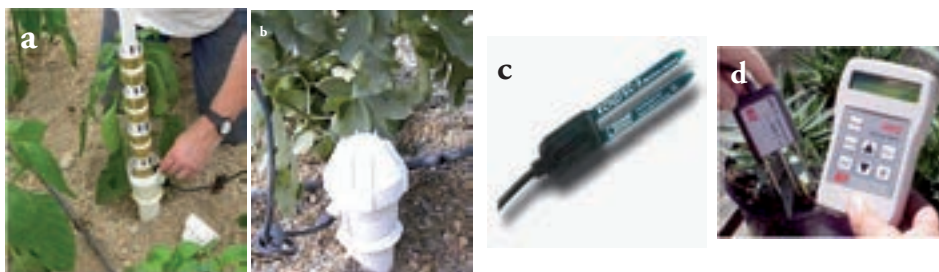


### Sensores que miden el contenido volumétrico del agua en suelo

Del grupo de sensores que miden la humedad volumétrica del suelo ( $\Theta_v$ ) los más adecuados para sistemas de cultivo hortícolas de invernadero son los sensores di-eléctricos (Thompson y Gallardo, 2003). Hay dos tipos (i) TDR

(en inglés, Time Domain Refractometry) y (ii) de capacitancia, o FDR (en inglés, Frequency Domain Refractometry). Los sensores TDR, compuestos por barras de acero inoxidable de >10 cm, se usan bastante en investigación. Los sensores de capacitancia, además de investigación se usan para el manejo de riego en aplicaciones comerciales. Los sensores de capacitancia se comercializan en varias configuraciones, p. ej. barras o anillos en varias profundidades (Thompson y Gallardo, 2003; Figura 3).

**Figura 3. Sensores de capacitancia. Varios sensores Enviro SCAN dispuestos en una sonda (a), sonda enviroSCAN instalada en suelo (b), sensor ECHO (c) y WET sensor con lector (d)**



El sensor de capacitancia más usado para el manejo del riego es el EnviroSCAN (Sentek Technologies, Australia) que consiste en varios sensores tipo anillo montados verticalmente en una sonda a varias profundidades (Figura 3). Este equipo registra datos continuos de humedad dando información detallada sobre la dinámica del agua en el suelo tanto en la zona radicular como por debajo. El EnviroSCAN es relativamente caro y sensible a cambios en salinidad del suelo (Thompson *et al.*, 2007) lo cual limita su uso en sistemas donde se maneja la salinidad para aumentar la calidad del fruto.

Algunos sensores dieléctricos y tensiómetros se han usado para el manejo del riego en cultivos en sustrato (Thompson y Gallardo, 2003). Estos sensores dieléctricos incluyen el EnviroSCAN (Figura 3), WET sensor (Delta-T Devices, Reino Unido; Figura 3), sensor ECHO (Decagon Devices, EEUU), y sensor Grodan WCM Continuous Sensor (Grodan, Holanda). Los tensiómetros con una escala reducida p. ej. 0 a -40 kPa y respuesta rápida se han usado con sustratos artificiales y medios de cultivo como la arena.

### 5.1.2. Programación del riego con sensores de planta

Los sensores de planta que mas aplicaciones tienen para el manejo del riego son: (i) sensores de diámetro de tallo, (ii) sensores de flujo de savia, y (iii) sensores de temperatura de hoja/cubierta (Gallardo y Thompson, 2003b). Los sensores de diámetro de tallo miden la contracción del tallo que ocurre durante el día en respuesta a la transpiración y el crecimiento del tallo; ambos parámetros son muy sensibles al estrés hídrico. En los últimos años ha habido mucha investigación con estos sensores en cultivos leñosos y cierta adopción en fincas comerciales. En cultivos hortícolas, estos sensores pueden ser indicadores de estrés hídrico; sin embargo en cultivos de ciclo corto, la tasa de crecimiento rápida hace mas difícil la interpretación de los datos; además su sensibilidad en la detección de estrés hídrico en cultivos de invernadero decrece en condiciones invernales de baja demanda evaporativa (Gallardo *et al.* 2006). De manera similar, los sensores de flujo de savia que miden directamente la transpiración de la planta han sido objeto de investigación sobre todo en cultivos leñosos. Estos sensores debido a su elevado coste y complejidad técnica se han usado fundamentalmente en investigación y no existen muchas aplicaciones comerciales en horticultura para el manejo del riego. La diferencia de temperatura entre la hoja o el cultivo y el ambiente es también un indicador sensible al estrés hídrico. Se han propuesto varios indicadores para el riego basados en esta medida como el CWSI («Crop Water Stress Index»), pero aunque hasta ahora no ha habido aplicaciones comerciales, actualmente se está trabajando en este método en combinación con teledetección. En general los sensores de planta han tenido menos aplicaciones prácticas para el manejo del riego que los sensores de suelo.

### 5.1.3. Consideraciones generales sobre sensores para el manejo de riego

Cuando se usan sensores para el manejo del riego hay que considerar (i) las replicaciones con un mínimo de 2-3 sensores para un cultivo dado y (ii) la localización de los sensores que debe ser representativa del cultivo. Otras consideraciones son el coste, facilidad de uso, preparación, mantenimiento, apoyo técnico, facilidad en la interpretación de datos, disponibilidad de protocolos de riego, idioma de trabajo y disponibilidad de un software amigable en equipos que requieren el uso de un ordenador (Thompson y Gallardo, 2003). En general los sensores de suelo son mas fáciles de usar para el manejo del riego que los de planta y el avance en el desarrollo de protocolos de riego

ha sido mayor. Los sensores de suelo de capacitancia son usados actualmente en fincas comerciales en otros países. Sin embargo dos limitaciones importantes son su coste y su elevada sensibilidad a la salinidad. Los tensiómetros son sensores muy adecuados para cultivos hortícolas de invernadero en suelo porque son simples, baratos y fiables, no están afectados por la salinidad del suelo y su rango de trabajo normalmente no es una limitación en los suelos generalmente húmedos de este tipo de cultivos.

## *5.2. Programación del riego con datos climáticos*

La programación del riego con datos climáticos se basa en la utilización de expresiones matemáticas que, a partir de datos climáticos, permiten estimar el volumen de agua consumido por el cultivo o evapotranspiración del cultivo (ETc). Cuando se utilizan sistemas de riego por goteo, dada la elevada frecuencia de riegos se suele ignorar el papel del suelo como almacén de agua y se considera que el contenido de agua en el suelo no varía con el tiempo. Por tanto, bajo invernadero la programación del riego se simplifica y el proceso de programación se enfoca hacia cuanta agua hay que aplicar basándose en estimaciones de la ETc.

Los datos climáticos deben proceder de estaciones agrometeorológicas localizadas en áreas cultivadas donde los instrumentos se exponen a condiciones atmosféricas similares a las de los cultivos circundantes (Allen *et al.*, 1998). Además, hay que tener en cuenta que la precisión de las estimaciones del consumo de agua del cultivo no será superior a la de los datos climáticos empleados. Por tanto, antes de realizar estimaciones del consumo de agua del cultivo es muy recomendable que se evalúe la calidad de los datos climáticos para detectar errores. Se han desarrollado varios procedimientos que permiten evaluar la calidad de los datos climáticos de forma sencilla (Meek y Hatfield 1994; Allen *et al.*, 1998).

### *5.2.1. Modelos para estimar las necesidades de agua de los cultivos*

En los invernaderos con sistemas de control climático y cultivo en sustrato se han desarrollado modelos que permiten estimar la transpiración del cultivo a escala horaria o inferior (Stanghellini 1987; Baille *et al.*, 1994; Medrano *et al.*, 2005). El uso de estos modelos en invernaderos con bajo nivel tecnológico puede ser complejo porque es necesario disponer de: (i) datos climáticos ho-

rarios en tiempo real, (ii) datos referentes al cultivo, tales como la resistencia aerodinámica y el índice de área foliar, de los cuales hay poca información o son de difícil medición y (iii) hay que conocer como varían los parámetros de los modelos con las condiciones climáticas, especie y estado de desarrollo.

En los invernaderos sin control climático y bajo nivel tecnológico, sí además se usa el suelo como medio de cultivo, puede ser más aconsejable el uso de expresiones más sencillas. Se han propuesto relaciones empíricas entre la transpiración del cultivo y la radiación solar (de Villele 1974) o entre la evapotranspiración del cultivo y la evaporación desde un Tanque Clase A (Castilla, 1986). Sin embargo, estas relaciones varían con las condiciones climáticas, especie cultivada y estado de desarrollo del cultivo, ya que los coeficientes de estas relaciones engloban tanto los efectos del clima y cultivo sobre la demanda de agua del cultivo.

El modelo de la FAO (Doorenbos y Pruitt 1977) permite separar los efectos del clima y cultivo sobre el consumo de agua, lo que ha permitido su aplicación en distintas condiciones climáticas o de cultivo. Este modelo estima el consumo de agua del cultivo o evapotranspiración ( $ET_c$ ) (ec. 1) como el producto de la evapotranspiración de un cultivo de gramíneas de referencia ( $ET_o$ ), que cuantifica el efecto que tiene el clima sobre la demanda de agua del cultivo, y el coeficiente de cultivo ( $K_c$ ), que depende del cultivo en cuestión, su estado de desarrollo y disponibilidad de agua en el suelo, sirve como una integración de las diferencias físicas y fisiológicas entre el cultivo y el cultivo de referencia.

$$ET_c = ET_o * K_c \quad [1]$$

Este modelo, ampliamente usado en cultivos al aire libre, ha sido calibrado y evaluado en la Estación Experimental de Cajamar ‘Las Palmerillas’ para su uso en los cultivos hortícolas bajo invernadero en el sudeste español (Fernández *et al.*, 2001; Orgaz *et al.*, 2005; Bonachela *et al.*, 2006; Fernández *et al.*, 2010).

Existen numerosas expresiones que permiten estimar la  $ET_o$  a partir de datos climáticos, pero el método FAO-56 Penman-Monteith (Allen *et al.*,

1998) se ha recomendado como método estándar de cálculo por su precisión tanto en climas áridos como húmedos. Este método requiere datos de radiación, temperatura del aire, humedad atmosférica y velocidad del viento. Bajo invernadero en clima mediterráneo, este método ha proporcionado buena precisión cuando se utiliza un valor fijo de resistencia aerodinámica de  $295 \text{ s m}^{-1}$  (Fernández *et al.*, 2010). Además, los métodos de Hargreaves y un método de radiación local también proporcionaron estimaciones precisas, y dado los pocos datos climáticos que requieren y su sencillez se recomiendan para su uso en estas condiciones (Fernández *et al.*, 2010). El método de radiación local permite la estimación de los valores de ETo bajo invernadero a partir de valores de radiación solar medida en exterior y de la transmisividad de la cubierta del invernadero, que es función del tipo de estructura, material de cerramiento, edad del plástico, etc. La principal ventaja de este método es la posibilidad de adaptar la dosis de riego a diferentes tipos de manejo (encalado o blanqueo, distintos tipos de sombreado), tipos de estructura de invernaderos y materiales de cerramiento a partir de la transmisividad de la cubierta.

Los valores de Kc de los principales cultivos en invernadero han sido determinados en las condiciones del sudeste de España (Fernández *et al.*, 2001; Orgaz *et al.*, 2005). También se ha desarrollado un modelo que estima los valores de Kc en función de la temperatura medida dentro de invernadero (Fernández *et al.*, 2001; Orgaz *et al.*, 2005), lo que ofrece un método simple para adaptar las dosis de riego a diferentes condiciones climáticas o fechas de plantación.

Utilizando el modelo de la FAO adaptado a invernadero se desarrolló un software, PrHo v 2.0 (© 2008 Fundación Cajamar; Fernández *et al.*, 2008) y se han elaborado recomendaciones de riego basadas en datos climáticos medios de radiación solar exterior y temperatura de dentro de invernadero de una serie histórica de más de veinte años (Figura 4). El objetivo es proporcionar a técnicos y agricultores herramientas que les permita optimizar los aportes de riego a los cultivos hortícolas bajo invernadero, y que además sean fácilmente utilizables.

**Figura 4. Programa de Riegos para cultivos Hortícolas (PrHo) y publicación elaborada por la Estación Experimental de Cajamar 'Las Palmerillas' con las recomendaciones de riego para los cultivos hortícolas**



## Referencias bibliográficas

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D. y SMITH, M. (1998): «Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements»; *FAO Irrigation and Drainage* (56). FAO, Roma.
- BAEZA, R. y FERNÁNDEZ, M. (2010): «Solarización de cultivos hortícolas bajo abrigo: técnicas adecuadas de manejo para una mayor eficacia del método»; *Boletín trimestral de información al regante*. Consejería de agricultura y pesca. IFAPA, Instituto de investigación y formación agraria y pesquera.
- BAILLE, M.; BAILLE, A. y LAURY, J. C. (1994): «A simplified model for predicting evapotranspiration rate of nine ornamental species vs. climate factors and leaf area»; *Scientia Horticulturae* (59); pp. 217-232.
- BONACHELA, S.; GONZÁLEZ, A. M. y FERNÁNDEZ, M. D. (2006): «Irrigation scheduling of plastic greenhouse vegetable crops based on historical weather data»; *Irrig. Sci.* (25); pp. 53-62.

- BONACHELA, S.; ACUÑA, A. R. y CASAS, J. (2007): «Environmental factors and management practices controlling oxygen dynamics in agricultural irrigation ponds in a semiarid Mediterranean region: Implications for pond agricultural functions»; *Water Res.* (41); pp. 1225-1234.
- CARREÑO, J.; AGUILAR, J. y MORENO, S. M. (2000): *Gastos de agua y cosechas obtenidas en los cultivos protegidos del campo de Níjar (Almería)*. Huelva, XVIII Congreso Nacional de Riegos.
- CASAS, J. J.; TOJA, J.; BONACHELA, S.; FUENTES, F.; GALLEGU, I.; JUAN, M.; LEÓN, D.; PEÑALVER, P.; PÉREZ, C. y SÁNCHEZ, P. (2011): «Artificial ponds in a Mediterranean region (Andalusia, southern Spain): agricultural and environmental issues»; *Water and Environ. J.* (25-3); pp. 308-317.
- CASTILLA, N. (1986): «Contribución al estudio de los cultivos enarenados en Almería: Necesidades hídricas y extracción de nutrientes del cultivo de tomate de crecimiento indeterminado en abrigo de polietileno»; *Tesis doctoral*. Caja Rural Provincial Almería; p. 195.
- CÉSPEDES, A. J.; GARCÍA, M. C.; PÉREZ-PARRA, J. J. y CUADRADO, I. M. (2009): *Caracterización de la explotación protegida almeriense*. Almería, FIAPA y Fundación Cajamar.
- DE VILLELE, O. (1974): «Besoins en eau des cultures sous serre. Essai de conduite des arrosages en fonction de l'ensoleillement»; *Acta Hortic.* (35); pp. 123-129.
- DOORENBOS, J. y PRUITT, W. O. (1977): «Las necesidades de agua de los cultivos»; *Riego y drenaje* (24). Roma, FAO.
- FERNÁNDEZ, M. D.; ORGAZ, F.; FERERES, E.; LÓPEZ, J. C.; CÉSPEDES, A.; PÉREZ, J.; BONACHELA, S. y GALLARDO, M. (2001): *Programación del riego de cultivos hortícolas bajo invernadero en el sudeste español*. Cajamar (Caja Rural de Almería y Málaga).
- FERNÁNDEZ, M. D.; GONZÁLEZ, A. M.; CARREÑO, J.; PÉREZ, C. y BONACHELA, S. (2007): «Analysis of on-farm irrigation performance in Mediterranean greenhouses»; *Agric. Water Manage.* (89); pp. 251-260.
- FERNÁNDEZ, M. D.; CÉSPEDES, A. y GONZÁLEZ, A. M. (2008): «PrHo V. 2.0: Programa de Riego para cultivos Hortícolas en invernadero»; *Documento Técnico* (1). Almería, Fundación Cajamar.

- FERNÁNDEZ, M. D.; BONACHELA, S.; ORGAZ, F.; THOMPSON, R. B.; LÓPEZ, J. C.; GRANADOS, M. R.; GALLARDO, M. y FERERES, E. (2010): «Measurement and estimation of plastic greenhouse reference evapotranspiration in a Mediterranean climate»; *Irrig. Sci.* (28); pp. 497-509.
- GALLARDO, M. y THOMPSON, R. B. (2003a): «Relaciones hídricas en suelo y planta»; en FERNÁNDEZ, M. *et al.*, eds.: *Mejora de la Eficiencia en el Uso del Agua en Cultivos Protegidos*. Dirección General de Investigación y Formación Agraria de la Junta de Andalucía; pp. 71-94.
- GALLARDO, M. y THOMPSON, R. B. (2003b): «Uso de los sensores de planta para la programación del riego»; en FERNÁNDEZ, M. *et al.*, eds.: *Mejora de la Eficiencia en el Uso del Agua en Cultivos Protegidos*. Dirección General de Investigación y Formación Agraria de la Junta de Andalucía; pp. 353-374.
- GALLARDO, M.; THOMPSON, R. B.; VALDEZ, L. C. y FERNÁNDEZ, M. D. (2006): «Response of stem diameter variations to water stress in greenhouse-grown vegetable crops»; *Journal of Horticultural Science & Biotechnology* (81); pp. 483-495.
- LORITE, I. J.; MATEOS, L. y FERERES, E. (2004): «Evaluating irrigation performance in a Mediterranean environment. II. Variability among crops and farmers»; en *Irrig. Sci.* (23); pp. 85-92.
- LUPIAÑEZ, N. (2009): *Caracterización y evaluación de instalaciones de riego localizado del Campo de Dalías*. Universidad de Almería, Proyecto Fin de Carrera.
- MARTÍNEZ ÁLVAREZ, V.; CALATRAVA LEYVA, J.; MAESTRE VALERO, J. F. y MARTÍN GÓRRIZ, B. (2009): «Economic assessment of shade-cloth covers for agricultural irrigation reservoirs in a semi-arid climate»; *Agric. Water Manage* (96); pp. 1351-1359.
- MERRIAM, J. L. y KELLER, J. (1978): *Farm Irrigation System Evaluation*. Utah, State University.
- MALANO, H. y BURTON, M. (2000): «Guidelines for Benchmarking Performance in the Irrigation and Drainage Sector». *International Programme for Technology and Research in Irrigation and Drainage (IPTRID Secretariat)*. Rome, FAO.
- MEDRANO, E.; LORENZO, P.; SÁNCHEZ-GUERRERO, M. C. y MONTERO, J. I. (2005): «Evaluation and modelling of greenhouse cucumber-crop transpiration under high and low radiation conditions»; *Scientia Hort.* (105); pp. 163-175.

- MEEK, D. W. y HATFIELD, J. L. (1994): «Data quality checking for single station meteorological databases»; *Agricultural and Forest Meteorology* (69); pp. 85-109.
- ORGAZ, F.; BONACHELA, S.; CUEVAS, R.; DE LOS RIOS, E.; MONTERO, J. I.; CASTILLA, N. y FERERES, E. (1986): «Evaluación de sistemas de riego localizado en cultivos bajo invernadero en Almería»; *II Congreso Nacional de la S.E.C.H.* España, Córdoba.
- ORGAZ, F.; FERNÁNDEZ, M. D.; BONACHELA, S.; GALLARDO, M. y FERERES, E. (2005): «Evapotranspiration of horticultural crops in an unheated plastic greenhouse»; *Agric. Water Manage.* (72); pp. 81-96.
- PEÑA, M. T. (2009): *Estimación a escala regional de los flujos de agua y la lixiviación de nitratos en el Campo de Dalías*. Universidad de Almería, Proyecto Fin de Carrera.
- SÁNCHEZ-MARTOS, F.; PULIDO-BOSCH, A. y CALAFORRA, J. M. (1999): «Hydrogeochemical processes in an arid region of Europe (Almería, SE Spain)»; en *Applied Geochemistry* (14); pp. 735-745.
- STANGHELLINI, C. (1987): «Transpiration of greenhouse crops: an aid to climate management»; *Ph.D. Dissertation*. The Netherlands, Wageningen Agricultural University.
- THOMPSON, R. B. y GALLARDO, M. (2003): «Programación de riegos mediante sensores de humedad en suelo»; en FERNÁNDEZ, M. *et al.*, eds.: *Mejora de la Eficiencia en el Uso del Agua en Cultivos Protegidos*. Dirección General de Investigación y Formación Agraria de la Junta de Andalucía; pp. 375-402.
- THOMPSON, R. B.; GALLARDO, M.; AGÜERA, T.; VALDEZ, L. C. y FERNÁNDEZ, M. D. (2006): «Evaluation of the Watermark sensor for use with drip irrigated vegetable crops»; *Irrigation Science* (24); pp. 185-202.
- THOMPSON, R. B.; GALLARDO, M.; FERNÁNDEZ, M. D.; VALDEZ, L. C. y MARTÍNEZ-GAITAN, C. (2007): «Salinity effects on soil moisture measurement made with a capacitance sensor»; *Soil Science Society of America Journal* (71); pp. 1647-1657.



# Fertirrigación

*Juan José Magán Cañadas<sup>(a)</sup>, María Dolores Fernández Fernández<sup>(a)</sup>,  
Rodney B. Thompson<sup>(b)</sup> y María Rosa Granados García<sup>(b)</sup>*

<sup>a</sup>Estación Experimental de Cajamar 'Las Palmerillas' y <sup>b</sup>Universidad de Almería

## 1. Concepto de fertirrigación

La fertirrigación consiste en la aplicación conjunta del agua y los fertilizantes. Suele ir asociada a un sistema de riego localizado como puede ser el riego por goteo ya que, de este modo, es posible conseguir el máximo aprovechamiento y obtener importantes ventajas. En concreto, el uso de la fertirrigación en combinación con el riego localizado permite aportar y localizar en las raíces de las plantas los fertilizantes que estas necesitan para su desarrollo, consiguiéndose, mediante un correcto manejo, un alto aprovechamiento de los mismos y minimizándose las pérdidas que se producirían por lixiviación si se empleasen en sistemas no localizados. Del mismo modo, permite ahorrar agua y fertilizantes y fraccionar mejor el aporte de estos de acuerdo con las necesidades del cultivo en cada momento.

La técnica de fertirrigación se puede aplicar tanto al cultivo en suelo como al sin suelo, aunque existen ciertas diferencias entre ambos sistemas a la hora de llevar a cabo su manejo, como son:

- En suelo existe una reserva de nutrientes, mientras que en cultivo sin suelo se utilizan sustratos inertes o, al menos, con escaso volumen. Por tanto, en la fertirrigación en suelo existe la posibilidad de no aportar o distanciar el aporte de ciertos nutrientes (como por ejemplo fósforo o microelementos) o de dar riegos de agua sin fertilizantes. Además, resulta frecuente el aporte de agua sola al inicio (preriego) o al final (posriego) del riego. Frente a ello, en cultivo sin suelo se aporta una solución completa durante todo el riego.
- El complejo de cambio existente en el suelo provoca la adsorción de cationes, lo que hace posible aumentar los niveles de aporte de amonio sin que se produzca toxicidad. En cultivo sin suelo es posible mantener condiciones radicales más óptimas que en suelo y el mane-

jo debe ir encaminado a conseguir un pH óptimo, de forma que el aporte de amonio se debe ajustar en función del pH de la solución del sustrato.

- En cultivo en suelo el manejo de la fertirrigación se orienta frecuentemente hacia el control del vigor y la obtención de frutos de calidad ya que el cultivo suele ser más vegetativo que el llevado a cabo en sustrato, donde suele obtenerse un cultivo equilibrado entre vegetación y fructificación.

Para conseguir una alta eficacia de la fertirrigación en cultivo en suelo, es necesario partir de un suelo en las condiciones más óptimas posibles en cuanto a presencia de materia orgánica, nivel de sodio intercambiable, etc. Se debe realizar un análisis de suelo fiable al inicio de campaña, antes de la plantación. A través de este análisis sabremos si resulta conveniente aportar una cierta cantidad de estiércol para incrementar los niveles de materia orgánica, aplicar yeso para liberar el exceso de sodio adsorbido al complejo de cambio, aportar azufre para modificar la alcalinidad del suelo, etc. Asimismo nos permitirá conocer los niveles de fertilidad, principalmente en cuanto a fósforo y potasio se refiere, y saber si es necesario aportarlos como abonado de fondo con el fin de iniciar la fertirrigación a partir de unos niveles deseables. Dichos niveles son convenientes como reserva de seguridad ante posibles deficiencias que puedan producirse en la fertirrigación. En este abonado de fondo pueden utilizarse fertilizantes tradicionales como sulfato amónico, superfosfato de cal y sulfato potásico, los cuales deben ser añadidos con suficiente antelación a la plantación para evitar que dañen las raíces del cultivo; se debe dar un par de riegos abundantes antes del trasplante para evitar dicho efecto. También se pueden emplear fertilizantes de liberación lenta para que no se produzca este problema pero, al liberarse durante el cultivo, se puede perder el control del mismo.

En este capítulo se abordará exclusivamente el manejo de la fertirrigación en suelo ya que el correspondiente a los cultivos sin suelo se tratará en el capítulo correspondiente.

## 2. Criterios de fertirrigación en suelo

Una vez que el suelo se encuentra en adecuadas condiciones, es el momento de iniciar la fertirrigación con el fin de satisfacer las necesidades nutricionales del cultivo. Para ello se pueden seguir dos criterios: uno más tradicional

que consiste en adaptar el suministro de nutrientes, en sentido cuantitativo, a las necesidades teóricas del cultivo en cada momento; y otro más fisiológico y de sentido más cualitativo, que trata de aportar una disolución fisiológica, equilibrada iónicamente, de modo que contenga todos los elementos nutritivos que necesita el cultivo. Este último es el criterio que se emplea en hidroponía y el que se está extrapolando al cultivo en suelo actualmente. Veamos cada uno de ellos.

### **3. Criterio de aporte de fertilizantes en función de las necesidades teóricas del cultivo**

Consiste en aportar en cada periodo del ciclo del cultivo la cantidad que se prevé absorba este de cada uno de los elementos esenciales que necesita para su desarrollo. Para ello hay que estimar en primer lugar la cosecha final que se espera obtener y, en función de esta, calcular las necesidades totales de cada nutriente. Estas van a ser un tanto por mil del peso de la producción final y resultarán variables en función de la especie de la que se trate.

A continuación, hay que repartir las necesidades totales de cada nutriente entre los distintos periodos del ciclo del cultivo, en función de los requerimientos en cada uno de ellos, y a su vez repartirlas equilibradamente entre los diferentes riegos que se realicen dentro de cada periodo. Para terminar, lo único que quedará por hacer es transformar las necesidades de cada uno de los elementos nutricionales en cantidades de fertilizantes comerciales a suministrar.

El problema es que no siempre es posible disponer de estudios locales de absorción de nutrientes y, además, estos pueden haberse realizado para unas condiciones ambientales, variedades y épocas del año dadas, por lo que las necesidades nutricionales calculadas pueden variar de las de nuestro caso concreto.

Dada la escasez de información acerca de la absorción de nutrientes por los cultivos, a la hora de dar recomendaciones, tradicionalmente se han utilizado lo que se denominan equilibrios de absorción, que son las cantidades de nutrientes absorbidas referidas a la cantidad de nitrógeno requerida por el cultivo. Así por ejemplo, supongamos que un cultivo en una determinada fase de su desarrollo presenta el siguiente equilibrio de absorción: 1:0,3:2,5. Esto quiere decir que por cada unidad fertilizante de N que absorbe también requiere 0,3 de  $P_2O_5$  y 2,5 de  $K_2O$ . Por tanto, los abonos suministrados deben mantener el equilibrio mencionado.

A la hora de establecer el equilibrio entre nutrientes, será necesario tener en cuenta el estado del cultivo y considerar las funciones de cada nutriente, que son:

- **Nitrógeno:** forma parte de las proteínas y tiene un gran efecto sobre el crecimiento de la planta, aumentando el volumen de los órganos vegetativos. Su exceso puede originar un desarrollo demasiado exuberante del cultivo y hace a este más sensible al ataque de enfermedades, por lo que se suele limitar su aporte al inicio con el fin de evitar el exceso de vigor.
- **Fósforo:** su principal papel es como transportador de energía (ATP) e influye en el crecimiento y desarrollo del sistema radical. Del mismo modo actúa sobre el desarrollo floral. Se suele aplicar más intensamente al inicio del cultivo.
- **Potasio:** es el elemento que mayor influencia tiene en la calidad del fruto ya que actúa sobre la consistencia y el contenido de azúcares del mismo. En invierno es importante su efecto paralelo a la función fotosintética ya que, debido a sus propiedades isotópicas, emite radiaciones  $\beta$  y  $\alpha$ , cuya energía se sumaría a la de la luz activando la fotosíntesis. En caso de exceso, la planta llega a realizar consumos de lujo. Resulta especialmente importante durante el periodo de fructificación.
- **Calcio:** aparte de sus funciones metabólicas, el calcio es el elemento plástico por excelencia, formando parte principal de las paredes celulares. La planta lo toma de forma pasiva por lo que su transporte hasta los frutos resulta dificultoso en condiciones de alta salinidad en la raíz y/o fuerte transpiración. Su deficiencia puede originar graves fisiopatías (blossom-end rot en tomate y pimiento, por ejemplo).
- **Magnesio:** es el componente esencial de la clorofila por lo que resulta fundamental para el proceso de fotosíntesis.
- **Azufre:** es un componente esencial de algunos aminoácidos y proteínas.

Sin embargo, con los equilibrios de absorción no sabemos la cantidad absoluta de nutrientes a aportar. Generalmente se recomienda la aplicación de una cantidad de fertilizantes cuya suma oscile entre 1 y 6 kg por cada 1.000 m<sup>2</sup> de cultivo y hora de riego en función de la etapa de desarrollo. Lógi-

camente, la dosis más baja se aplicará al inicio del cultivo y se irá aumentando progresivamente conforme lo requiera este. Normalmente, se pretende que la cantidad máxima de fertilizantes aportados en el agua de riego sea de aproximadamente 1 gramo por cada litro de agua, con el fin de evitar un aumento excesivo de la conductividad eléctrica que perjudique al cultivo, aunque puede haber situaciones en las que convenga elevar esta dosis.

#### **4. Criterio de aporte de fertilizantes en base a una disolución fisiológica equilibrada iónicamente**

Aunque el criterio de aporte de fertilizantes que se ha descrito en el apartado anterior es válido y, de hecho, se ha utilizado durante bastantes años, en la actualidad ha entrado en desuso con el empleo masivo de cabezales automáticos que regulan la inyección de fertilizantes por conductividad eléctrica y pH. En estos sistemas se indica un porcentaje de inyección para cada una de las soluciones madre preparadas, estableciéndose una solución nutritiva que se mantiene constante a lo largo del riego.

Este cambio de criterios se ve respaldado por la idea de que el fin de la fertilización debe ser la consecución de una solución nutritiva en la rizosfera de la planta que sea óptima para esta, con lo cual debe estar equilibrada iónicamente, y dicha solución debe sufrir la menor variación posible para que el cultivo no se vea afectado. De este modo, parece lógico tratar de conseguir dicho equilibrio partiendo de otro de entrada que va a ser el aportado.

Este criterio es el que se ha utilizado clásicamente y se sigue usando en los cultivos sin suelo, pero ahora además se está empleando en los cultivos en suelo. El problema es que muchas veces se utilizan los mismos equilibrios iónicos de los primeros para los segundos y ello no debe ser así, pues el suelo no es un sustrato inerte como ocurre con materiales como la lana de roca o la perlita, sino que interacciona con la solución adsorbiendo unos iones y liberando otros para alcanzar un equilibrio dinámico. Además, ocurre que, si se suministra la misma solución nutritiva a un suelo que ha recibido en diferentes zonas distintos tratamientos previos, la solución de la rizosfera será diferente en cada zona. Esto da a entender que el aporte de fertilizantes debe ser distinto en cada una de dichas parcelas, aunque se trate del mismo cultivo.

Realmente, no es fácil saber cuál es la solución nutritiva de aporte ideal en unas condiciones dadas debido a la interacción que ejerce el suelo sobre ella.

Por ello, lo más oportuno es seguir la evolución de la solución de la rizosfera e ir adaptando la solución de aporte para conseguir que la primera se aproxime a la deseada para el cultivo en cuestión.

El método clásico que se ha utilizado para conocer la disponibilidad de nutrientes en la solución del suelo es el extracto saturado. Sin embargo, en la actualidad tiene mucho futuro y probablemente se imponga el uso de sondas de succión por las ventajas que presenta.

Una sonda de succión es un elemento poroso (normalmente una cerámica porosa) de forma y tamaño variable, a través del cual penetra la disolución que hay en el suelo al aplicar vacío al sistema. Este elemento poroso va unido a un cilindro de PVC o metálico de diámetro ligeramente superior y de longitud variable dependiendo de la profundidad que se quiera muestrear. El cilindro de PVC va a su vez sellado por un tapón de goma, al que atraviesa un tubo de pequeño diámetro y paredes semirrígidas que se conecta al sistema de vacío. Una vez que la muestra se recoge en la cámara de la sonda de succión, esta puede ser extraída por el tubo de descarga aplicando aire a presión a través del tubo de vacío.

El uso de sondas de succión en los cultivos hortícolas bajo invernadero puede tener una gran aplicación ya que es el único método viable para extraer in situ la disolución del suelo, sin proceder a diluciones de la misma. De este modo permite conocer la composición iónica de la disolución mediante análisis y no solo la conductividad eléctrica, como ocurre con el resto de técnicas in situ. Asimismo la extracción de la muestra es sencilla y poco costosa, no alterando el suelo, al contrario de lo que sucede con las técnicas de muestreo para la realización de análisis de suelo convencionales. Del mismo modo, al obtener una muestra líquida, el análisis es más rápido y barato.

Según los resultados obtenidos por Lao (1998), la sonda de succión se comporta como un buen muestreador para pH, conductividad eléctrica, nitratos, potasio, fosfatos y sodio; para calcio, magnesio, amonio y cloruros existe una alteración inferior al 15 %, que puede ser asumida desde un punto de vista nutricional. En cambio, bicarbonatos y sulfatos presentan valores importantes de alteración y, por tanto, su determinación en la solución del suelo mediante sondas de succión no parece interesante.

La normativa de utilización de las sondas de succión recomendada por Lao (1998) viene reflejada en la Tabla 1.

**Tabla 1. Normativa de utilización de las sondas de succión**

|                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Pasos previos a la instalación                                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lavado (HCl o HNO<sub>3</sub> 1N) 24 h y luego con agua. Cargar las sondas en un recipiente con agua.</li> <li>• Verificación de la capacidad de succión. Comprobar si el volumen obtenido es superior a 100 cc y si se mantiene el nivel de vacío al abrir la válvula después de las 24 h.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Instalación<br><br><i>1. Ubicación</i><br><br><br><i>2. Instalación en enarenado</i> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Núm. de sondas: mínimo 2 sondas por parcela (detectar los valores extremos de la misma).</li> <li>• Posición en el invernadero: tras muestreo previo y obtención de la CE, se elegirán los puntos con valores extremos. No colocar en líneas perimetrales.</li> <li>• Posición respecto a la planta: en la línea portagoteros a 10 cm de la planta.</li> <li>• Profundidad. Enarenado: 10 cm. Suelo: lo más cerca del sistema radical.</li> </ul> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Retirar arena y estiércol.</li> <li>2. Introducir sonda directamente en el suelo (si está seca o dura añadir agua).</li> <li>3. Introducción de la sonda perpendicular al suelo, si hay gran resistencia del suelo a la introducción se utiliza barrena de diámetro inferior a la cápsula.</li> <li>4. Apretar con los dedos el suelo entorno a la sonda hasta buen contacto (interfase suelo-sonda exenta de aire).</li> </ol> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Devolver estiércol y arena a su lugar.</li> </ul> |
| Toma de muestras                                                                     | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Equilibrado de sonda con disolución del suelo (cargar dos veces la sonda y despreciar las primeras muestras obtenidas).</li> <li>2. Para controlar potencial osmótico (carga diaria de la sonda). Para controlar los iones se debe cargar 24 horas antes del riego siguiente.</li> <li>3. Cargado de la sonda: si no hay restos de disolución (mismo método que recogida de muestras), se abre la válvula, se conecta la bomba, se aplica vacío hasta -70 kPa y se cierra la válvula.</li> <li>4. Recogida de muestras: a las 24 horas. Se abre la válvula, se introduce el tubo conectado a la jeringa y se succiona la muestra. Esta se transfiere a otro recipiente. Finalmente, se cierra la válvula para evitar entrada de contaminantes.</li> </ol>                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Mantenimiento después del cultivo                                                    | Al final del cultivo se limpia con ácido y se guarda hasta la siguiente campaña.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |

Fuente: Lao (1998).

Realmente, no se dispone de muchos datos acerca de niveles óptimos de nutrientes en la solución del suelo. No obstante, Lao (1998) indica unos niveles medios correspondientes a la solución nutritiva y la del suelo para distintos parámetros nutricionales encontrados en cultivo de tomate en explotaciones comerciales de Almería. Estos niveles quedan reflejados en la Tabla 2.

**Tabla 2. Niveles medios correspondientes a la solución nutritiva y la del suelo para distintos parámetros nutricionales en tomate**

|          | Unidades             | SN    | Sonda | SN/sonda |
|----------|----------------------|-------|-------|----------|
| pH       |                      | 5,99  | 7,83  | 0,76     |
| Ce       | dS m <sup>-1</sup>   | 2,40  | 2,90  | 0,82     |
| Nitratos | mMol L <sup>-1</sup> | 11,67 | 12,69 | 0,92     |
| Amonio   | mMol L <sup>-1</sup> | 1,59  | 0,69  | 2,30     |
| Fosfatos | mMol L <sup>-1</sup> | 1,26  | 0,22  | 5,73     |
| Potasio  | mMol L <sup>-1</sup> | 7,94  | 6,02  | 1,32     |
| Calcio   | mMol L <sup>-1</sup> | 3,52  | 5,55  | 0,63     |
| Magnesio | mMol L <sup>-1</sup> | 1,99  | 4,23  | 0,47     |
| Sodio    | mMol L <sup>-1</sup> | 4,55  | 6,89  | 0,66     |
| Cloruros | mMol L <sup>-1</sup> | 4,79  | 7,34  | 0,65     |

Fuente: Lao (1998).

Según se observa, el pH del suelo se mantiene alto, a pesar del carácter ácido de la solución nutritiva. Esto es debido a la gran capacidad tampón del suelo y va a dificultar la absorción de determinados nutrientes, especialmente microelementos tales como hierro, manganeso o zinc en épocas de elevados requerimientos o de condiciones ambientales adversas (invierno).

En cuanto a la conductividad eléctrica, esta sufre un cierto incremento en el suelo con respecto a la solución nutritiva debido a la acumulación de elementos tales como sodio, cloruros, calcio y magnesio. Es interesante seguir la evolución de la conductividad eléctrica del suelo realizando extracciones semanales y midiendo su valor mediante un conductivímetro portátil ya que, de este modo, conoceremos el potencial osmótico ( $\Psi_o$ ) mediante la siguiente expresión:

$$\Psi_o \text{ (MPa)} = -0,036 \cdot \text{CE (dS} \cdot \text{m}^{-1}\text{)}$$

La suma de este potencial y del matricial, que viene dado por la lectura del tensiómetro (en torno a -20 kPa), va a darnos básicamente el valor del potencial hídrico del suelo, que no conviene que rebase ciertos valores que dependen del cultivo del que se trate y de la época del año en la que nos encontremos, con el fin de que no disminuya excesivamente la velocidad de flujo xilemático. Un aumento del potencial osmótico supondrá una acumulación de sales en el suelo y ello nos puede indicar unas mayores necesidades de lavado para contrarrestarlo o bien un aporte excesivo de algún nutriente.

En lo que se refiere a los nitratos, es interesante seguir su evolución en la solución del suelo con el fin de evitar que su concentración se dispare, ya que ello podría originar un excesivo vigor del cultivo (con la consiguiente influencia negativa sobre la fructificación y el ataque de enfermedades fúngicas y bacterianas) y provocar problemas de contaminación de las aguas tanto superficiales como subterráneas. Este último aspecto resulta en la actualidad de gran importancia debido a los efectos perniciosos que acarrea sobre la salud humana y el medioambiente y está obligando a modificar las prácticas de manejo del riego y la fertilización, con el fin de ajustar las dosis de aporte de agua y nitrógeno a las necesidades de los cultivos, tal como se aborda al final del capítulo.

Los fosfatos son rápidamente retrogradados en el suelo y, debido a ello, aparecen en muy baja concentración en la solución de este. Por ello no resulta lógico aportar altas concentraciones de este ion en el agua de riego. Incluso se han obtenido resultados similares comparando su aporte de forma continuada en la solución nutritiva, con el de una cierta cantidad en forma de superfosfato como abonado de fondo; esto hace que sea cuestionable la forma de aplicación actual de este elemento en el agua de riego. Según González (1991), es conveniente conocer los niveles disponibles de fósforo en el suelo mediante el método Olsen, de manera que, si la reserva es menor de 9 ppm, hay que aumentar la aplicación que se realiza; si es mayor a 25 ppm, hay que reducir la aplicación; y si es mayor de 140 ppm, se debe suprimir la aplicación.

En cuanto al potasio, este elemento es retenido en el complejo de cambio y existe una reserva en el suelo que hace que se mantenga bastante constante su concentración en la solución del suelo a lo largo del cultivo, a pesar de que pueda disminuir el aporte en la fase final. No obstante, dada la gran importancia del potasio sobre la calidad del fruto, no resulta conveniente descuidar dicho aporte.

El calcio y el magnesio tienden a acumularse en la solución del suelo debido a su alta presencia en el complejo de cambio en las condiciones de Almería. Frecuentemente no es necesario el aporte de magnesio debido a los niveles existentes en el agua de riego. Sin embargo, el calcio suele encontrarse descompensado respecto al otro ion en el agua, por lo que es normal su aporte con el fin de conseguir una relación  $\text{Ca/Mg}$  en la solución del suelo superior a 1 (si es posible, 2) que evite problemas de antagonismo.

El sodio y los cloruros se acumulan siempre ya que son absorbidos en muy pequeña cantidad por el cultivo. Hay que evitar altas concentraciones

de los mismos con el fin de que no se produzcan efectos antagónicos sobre otros elementos, como por ejemplo  $\text{Cl}/\text{NO}_3$ ,  $\text{Na}/\text{Ca}$  o  $\text{Na}/\text{K}$ . Esto se puede conseguir incrementando la dosis de riego y, por tanto, el lavado del horizonte de suelo superficial, que es donde se desarrollan la mayoría de las raíces en un cultivo enarenado.

En definitiva, la disolución del suelo disponible para la planta es el parámetro fundamental para caracterizar el estado nutritivo del mismo y es principalmente a través de la fertirrigación como podemos modificar dicha disolución. Sin embargo, no se puede hacer un diseño generalizado de la fertirrigación ya que va a variar para cada caso. Lao (1998) aconseja la siguiente gestión de la fertirrigación mediante el uso de sondas de succión:

- a) Conocimiento del estado nutritivo de la disolución del suelo inicial obtenido con las sondas. Mediante este se conocerá la situación inicial y se podrá establecer la disolución nutritiva de partida.
- b) Correcciones de los elementos nutritivos aportados a la solución nutritiva en función de las interacciones con el suelo (por análisis con la sonda) y cultivo. En el caso de desequilibrios nutricionales se debe repetir la analítica de la disolución del suelo cada 15 días hasta conseguir su mantenimiento dentro de los rangos apropiados.
- c) Seguimiento semanal de la CE de la solución obtenida con la sonda.
- d) Al inicio de la plena producción se debe repetir un análisis completo de la solución para corroborar que se encuentra a niveles adecuados.

## 5. El problema de los nitratos y su relación con la actividad agrícola

La contaminación de los acuíferos con nitratos es consecuencia de la lixiviación de  $\text{NO}_3^-$  desde sistemas agrícolas. Los acuíferos que reciben drenajes de ecosistemas naturales tienen concentraciones de  $\text{NO}_3^-$  muy bajas, menores de  $5 \text{ mg NO}_3^- \text{ L}^{-1}$ . La lixiviación de nitratos consiste en el transporte vertical de nitratos disueltos en el agua de drenaje y está asociado al uso de fertilizantes nitrogenados en agricultura, siendo común en la agricultura de regadío. La contaminación de acuíferos con nitratos es un tema de salud pública. El consumo de aguas con nitratos puede inducir la enfermedad metahemoglobinemia, también conocida como «síndrome de los bebés azules» que afecta a niños pequeños. Por ello, existe legislación que limita la concentración de

$\text{NO}_3^-$  de las aguas potables, siendo la máxima concentración permitida por la Unión Europea (UE) de  $50 \text{ mg NO}_3^- \text{ L}^{-1}$ .

## 6. Legislación sobre nitratos en la agricultura

La Directiva Nitratos de la UE (Directiva 91/676/CEE del Consejo de 12 de diciembre de 1991) establece un nivel máximo de  $50 \text{ mg NO}_3^- \text{ L}^{-1}$  en todas las aguas subterráneas y superficiales de la UE. Cuando la concentración de nitratos excede este límite, las zonas asociadas son declaradas ‘Zonas Vulnerables a la contaminación por Nitratos (ZVN)’, en las cuales se deben adoptar ‘programas de actuación’ encaminados a la reducción de la contaminación por nitratos de origen agrario. Aproximadamente el 40 % de la superficie de la UE-27 ha sido declarada ZVN. La directiva de nitratos ha sido incorporada dentro de la Directiva Marco de Agua (Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000) que incumbe todos los aspectos relacionados con la calidad de los recursos hídricos naturales y tiene como objetivo que la contaminación de las aguas sea mínima para el año 2015.

En España esta directiva es implementada a nivel de comunidades autónomas. En el Decreto 36/2008 de 5 de febrero se designan 22 zonas vulnerables a la contaminación por nitratos de origen agrario en Andalucía, que en Almería incluyen las principales zonas de producción hortícola intensiva. La Orden de 18 de noviembre de 2008 contiene los planes de actuación aplicables en las ZVN en Andalucía. Entre las prácticas requeridas están determinar la cantidad de fertilizantes nitrogenados (N) aplicados en función a la producción esperada, limitar el N aplicado en el estiércol y llevar un cómputo de las aplicaciones de N de los cultivos, registrándolas en «hojas de fertilización nitrogenada».

## 7. Prácticas agrícolas que contribuyen a la lixiviación de nitratos

La elevada lixiviación de  $\text{NO}_3^-$  está asociada a aplicaciones de fertilizantes N excesivas y a la ocurrencia de drenaje cuando el riego excede las necesidades hídricas del cultivo. Suelos de textura gruesa que drenan fácilmente y condiciones climáticas donde son frecuentes las lluvias torrenciales en cultivos al aire libre favorecen la lixiviación de nitratos. Las aplicaciones excesivas de N ocurren cuando la aplicación de N disponible para la planta ( $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$ ) excede claramente la extracción de N posible por un cultivo. El suministro de N incluye el N aplicado como fertilizantes nitrogenados, el N mineralizado

desde el estiércol y desde el N orgánico del suelo y el N mineral residual de cultivos precedentes.

En cultivos en suelo en invernaderos de Almería, el drenaje está asociado con riegos excedentarios durante el periodo de establecimiento tras el trasplante y riegos de elevado volumen durante la desinfección/solarización y riegos de pre-trasplante (Thompson *et al.*, 2007). La fertilización excedentaria de N es consecuencia de aplicar programas de fertilización fijos que generalmente no consideran otras fuentes de N como las elevadas aplicaciones de estiércol (Thompson *et al.*, 2007). Desde cultivos en sustrato a solución perdida ocurren pérdidas de  $\text{NO}_3^-$  elevadas porque se suele drenar como mínimo el 20-30 % de la solución de riego.

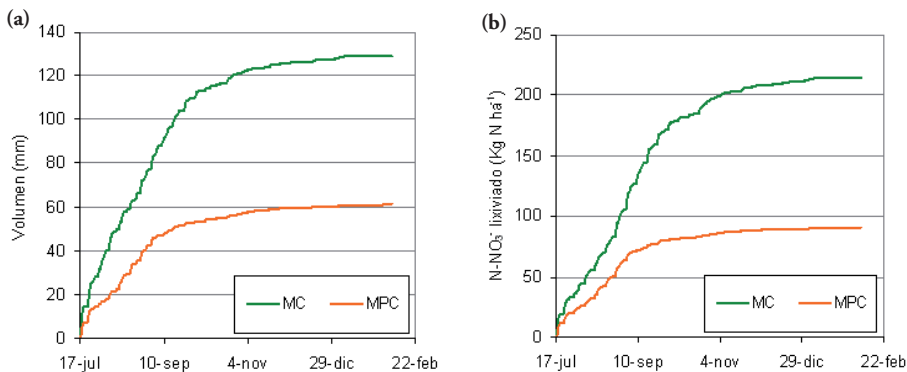
## 8. Prácticas agrícolas para un manejo óptimo de la fertilización nitrogenada

En varios estudios se han desarrollado prácticas de manejo de riego y fertilización nitrogenada en cultivos intensivos para minimizar las pérdidas de nitratos, optimizando la producción y calidad (Granados *et al.*, 2007). En primer lugar se consideran prácticas de manejo prescriptivas, considerando volúmenes de riego y aporte de N ajustado a la demanda del cultivo, obtenido mediante modelización en base a la información de cultivos desarrollados anteriormente bajo condiciones similares. En segundo lugar se propone considerar un manejo correctivo mediante el uso de sensores que indican el estado de humedad y la concentración de nitratos en el suelo durante el desarrollo del cultivo (Granados *et al.*, 2007).

En 2006 se desarrolló un cultivo de pimiento en la Estación Experimental de Cajamar 'Las Palmerillas'. La prescripción de las necesidades de riego se basaron en la evapotranspiración del cultivo (Fernández *et al.*, 2001), y la prescripción del N absorbido por la planta en el modelo Nup desarrollado por Granados (2011). Para el manejo correctivo se utilizaron tensiómetros para mantener una humedad adecuada en el suelo, y sondas de succión para mantener constante la concentración de nitratos en la solución de suelo y un nivel de salinidad adecuado durante el desarrollo del cultivo. Como resultado, se redujo el volumen de riego desde 355 mm en el tratamiento convencional (MC) hasta 296 mm en el tratamiento con manejo prescriptivo-correctivo

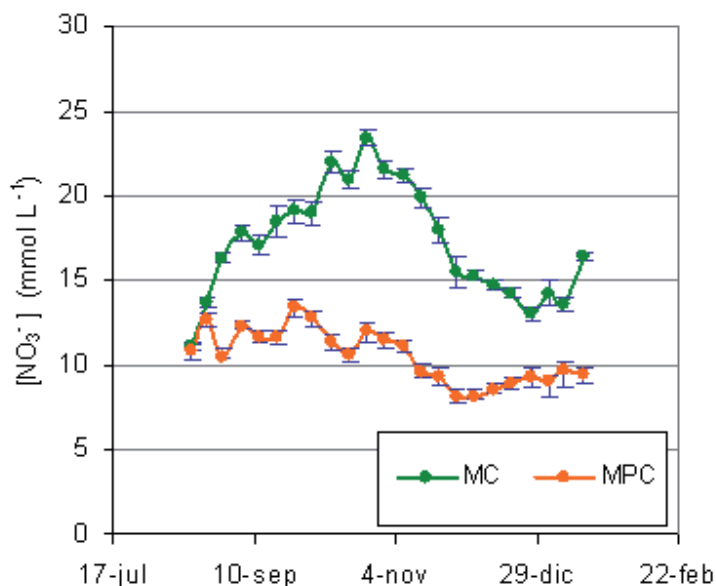
(MPC), produciéndose una disminución del volumen drenado de casi el 50 % (Gráfico 1). El uso de prácticas prescriptivas-correctivas de riego y aporte de N supuso una reducción de  $176 \text{ kg N ha}^{-1}$  en el N aportado, lo que equivale a un 35 % del N aportado en el tratamiento convencional. La concentración de nitratos en el drenaje del cultivo con tratamiento mejorado fue  $8,5\text{-}12 \text{ mMol L}^{-1}$ , mientras que en el tratamiento convencional alcanzó hasta  $19 \text{ mMol L}^{-1}$ , y se redujo de manera importante la cantidad de nitrato perdida por lixiviación, hasta un 40 % respecto al tratamiento convencional (Gráfico 1).

**Gráfico 1. Volumen acumulado de agua drenada (a) y cantidad acumulada de nitrógeno en forma de nitrato ( $\text{NO}_3 - \text{N}$ ) (b) lixiviada en el tratamiento prescriptivo-correctivo (MPC) y convencional (MC)**



Considerando como método de monitorización del nivel de N en el suelo el uso de sondas de succión, la concentración de nitratos en la solución del suelo se mantuvo en  $8\text{-}12 \text{ mMol L}^{-1}$  durante la mayor parte del periodo de cultivo, mientras que en el tratamiento convencional se mantuvo en  $14\text{-}24 \text{ mMol L}^{-1}$  (Gráfico 2). La producción de fruto, biomasa y absorción de N en el tratamiento con un manejo prescriptivo-correctivo fue similar a la obtenida en el tratamiento convencional, indicando que concentraciones de  $8\text{-}12 \text{ mMol L}^{-1}$  en la solución del suelo no son limitantes para el desarrollo del cultivo y que es posible ajustar el aporte de N a las necesidades del cultivo, obteniéndose una importante reducción de la cantidad de nitrato perdido por lixiviación.

**Gráfico 2. Concentración de nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) en la solución del suelo a 15 cm de profundidad en el tratamiento prescriptivo-correctivo (MPC) y convencional (MC)**



## Referencias bibliográficas

- FERNÁNDEZ, M. D.; ORGAZ, F.; FERERES, E.; LÓPEZ, J. C.; CÉSPEDES, A.; PÉREZ, J.; BONACHELA, S. y GALLARDO, M. (2001): *Programación del riego de cultivos hortícolas bajo invernadero en el sudeste español*. Cajamar (Caja Rural de Almería y Málaga).
- GONZÁLEZ, P. (1991): «La fertilización mediante el riego localizado»; *Curso Internacional sobre Agroecología del cultivo en invernaderos*. FIAPA, Almería.; pp. 223-247.
- GRANADOS, M. R. (2011): *Lixiviación de Nitratos desde Cultivo de Invernadero en Suelo en las Condiciones de Almería: Magnitud, Factores Determinantes y Desarrollo de un Sistema de Manejo Optimizado*. Tesis Doctoral, Universidad de Almería.

- GRANADOS, M. R.; THOMPSON, R. B.; FERNÁNDEZ, M. D.; GÁZQUEZ-GARRIDO, J. C.; GALLARDO M. y MARTÍNEZ-GAITÁN, C. (2007): «Reducción de lixiviación de nitratos y manejo mejorado de nitrógeno con sondas de succión en cultivos hortícolas»; *Colección Agricultura*. Fundación Cajamar, Almería.
- LAO, M. T. (1998): *Gestión del fertirriego de los invernaderos de Almería mediante el uso de sondas de succión*. Tesis doctoral, Escuela Politécnica Superior de Almería; p. 241.
- THOMPSON, R. B.; MARTÍNEZ-GAITÁN, C.; GALLARDO, M.; GIMÉNEZ, C. y FERNÁNDEZ, M.D. (2007): «Identification of irrigation and N management practices that contribute to nitrate leaching loss from an intensive vegetable production system by use of a comprehensive survey»; *Agricultural Water Management* (89); pp. 261-274.



# Manejo de los cultivos sin suelo

*Juan José Magán Cañadas*

Estación Experimental de Cajamar 'Las Palmerillas'

## 1. Preparación e inicio del cultivo

Un aspecto de vital importancia que debe ser considerado antes del comienzo del cultivo es la uniformidad de la instalación de riego, especialmente en cultivo sin suelo, en donde el volumen de sustrato en el que quedan confinadas las raíces es muy pequeño, por lo que se debe asegurar un aporte homogéneo de la solución nutritiva con el fin de evitar un desarrollo dispar del cultivo. En todo caso el coeficiente obtenido mediante la evaluación correspondiente debe situarse en torno al 95 % o más y, si no es así, habrá que revisar el estado de los goteros, el diseño hidráulico de la instalación de riego, etc.

Cuando se va a utilizar sustrato nuevo, en primer lugar hay que colocarlo en su posición definitiva, y para ello hay que tener en cuenta la pendiente del terreno. La pendiente a lo largo de la bolsa de sustrato no debería superar el 1 %, especialmente cuando se utilizan sustratos que retienen el agua a baja tensión, como por ejemplo la lana de roca, para evitar que la parte más alta se seque excesivamente. No obstante, cuando se usan sustratos como la perlita o la fibra de coco, que retienen el agua a mayor tensión, pendientes del 2-3 % resultan tolerables. Para evitar pendientes excesivas, se pueden calzar los sacos de cultivo o bien disponer estos perpendicularmente a la pendiente. En este caso, si las líneas de cultivo deben situarse a favor de dicha pendiente, puede optarse por plantar en los extremos del saco y establecer líneas pareadas. Frecuentemente la bolsa de polietileno que envuelve el sustrato presenta una pequeña perforación con el fin de evitar que reviente durante su transporte. Dicho orificio debe colocarse hacia arriba para que el sustrato pueda saturarse perfectamente.

El siguiente paso consiste en la apertura de los huecos de plantación en la bolsa de cultivo mediante cúter u otro sistema y en la colocación de las piquetas de los goteros en el sustrato. Posteriormente hay que aportar solución

nutritiva hasta rellenar la bolsa. En el caso de sustratos orgánicos que están comprimidos y que tienen que expandirse durante su saturación, como es el caso de la fibra de coco, es importante dar riegos cortos y con agua a la mayor temperatura posible para favorecer el proceso de expansión. Por ello, es mejor hacerlo al mediodía aprovechando las horas de más calor. Es conveniente que el sustrato permanezca en saturación durante 48 horas con el fin de que alcance un alto nivel de humedad y que adquiera unas buenas propiedades hidráulicas, de forma que posteriormente ya se pueden abrir los orificios de drenaje. Esto debe llevarse a cabo en la parte más baja del saco para evitar que haya agua estancada ya que de lo contrario se favorece la proliferación de patógenos radicales. En sustratos que pueden presentar problemas por una alta retención de agua, como puede ocurrir con la fibra de coco, resulta aconsejable abrir varios orificios de drenaje a lo largo del saco para favorecer la evacuación. Además, cuando se utiliza este sustrato, es conveniente medir la conductividad eléctrica de la solución del mismo ya que a veces puede haber una cantidad excesiva de sales tóxicas para el cultivo (cloruro sódico), que habrá que lavar previamente a la plantación.

En la plantación, el cepellón procedente del semillero se coloca encima o dentro del sustrato, dependiendo del tipo de material del que se trate. Así por ejemplo, en lana de roca el trasplante se suele hacer en taco de 7,5 x 7,5 cm del mismo material y va protegido lateralmente por una lámina de plástico, de forma que dicho taco se coloca directamente sobre la tabla y se sujeta a esta con la piqueta del gotero correspondiente. Una vez conseguido el enraizamiento, dicha piqueta se debe sacar un poco del taco para evitar que las raíces del cultivo taponen la salida del agua. Normalmente la piqueta se mantiene sobre el taco y no se suele pinchar directamente sobre la tabla, salvo cuando puede haber problemas de podredumbre de cuello, ya que así se dispone de más altura y el cono de hidratación del gotero es mayor.

En el caso de sustratos más sueltos (perlita, fibra de coco, arena, etc) se pueden utilizar distintos materiales en semillero, aunque se debe evitar que este retenga notablemente más agua que el sustrato definitivo para evitar una humedad excesiva en la base del tallo. Si también se emplean tacos de lana de roca con envoltura de plástico, estos se colocan igualmente sobre el sustrato procurando que el contacto sea lo más íntimo posible pero, si carecen de dicha funda o la planta viene en un cepellón orgánico o de perlita, hay que enterrarlo y la piqueta se debe colocar junto al taco, separándola una vez

enraizado el cultivo para evitar problemas de podredumbre de cuello. En el caso de cultivo de pimiento la planta debe enterrarse hasta los cotiledones con el fin de favorecer la aparición de raíces a lo largo del hipocotilo y que no se origine «pie de elefante». En el caso de taco de lana de roca esta precaución hay que tenerla en semillero, de forma que a la hora de realizar el repicado, el hipocotilo de la plántula debe doblarse e introducirse en el orificio del taco.

Si el cepellón se coloca sobre el sustrato, es posible abrir los orificios de drenaje después de la plantación, con lo que hay más tiempo para la saturación del sustrato. En cambio, si se entierra, habrá que realizar los agujeros previamente a la plantación con el fin de que salga el agua sobrante. En cualquier caso, una vez realizada la plantación, se debe dar un riego para asegurar el íntimo contacto entre el taco y el sustrato y facilitar el anclaje de las raíces en este.

En cultivos de fácil germinación y de crecimiento rápido como el pepino o la judía es frecuente realizar siembra directa en el sustrato definitivo. Se debe partir de un sustrato bien humedecido, de forma que el orificio en el que se coloca la semilla se suele realizar directamente con el dedo. La profundidad de siembra suele oscilar entre uno y tres centímetros y debe ser menor en invierno que en verano ya que la germinación es más lenta y hay menos riesgo de que se seque el sustrato. Una vez colocada la semilla, esta se cubre con sustrato. Esto puede realizarse con el propio sustrato de cultivo, pero para esta operación resulta muy adecuada la vermiculita de granulometría fina, la cual se hidrata bien y opone poca resistencia a la germinación de la semilla. Evidentemente, el sustrato añadido debe quedar bien humedecido.

Cuando se reutiliza el sustrato para la siguiente plantación pero no se va a plantar inmediatamente tras terminar el cultivo sino que se pretende dejar un tiempo de reposo, resulta conveniente mantener hidratado dicho sustrato mediante uno o varios riegos semanales para evitar una acumulación excesiva de sales, especialmente en los poros pequeños que resultan difíciles de lavar posteriormente. Con anterioridad a la nueva plantación será conveniente desinfectar el sustrato con algún producto biocida, que habrá que lavar adecuadamente a continuación para que no se afecte el nuevo cultivo. Una alternativa es solarizar el sustrato durante el periodo sin cultivo, para lo cual se cubren los sacos de sustrato con un plástico fino colocado a lo largo de cada línea, se sellan los laterales del mismo enterrándolos en el suelo o colocándolos debajo de los sacos y se cierra totalmente el invernadero para alcanzar la mayor temperatura posible en el sustrato durante un periodo de unos 45 días.

## 2. Manejo del riego al principio del cultivo

El manejo del riego es uno de los aspectos más importantes para el correcto desarrollo del cultivo, especialmente en cultivo sin suelo. Hay que tener en cuenta que va a influir decisivamente en el crecimiento y la sanidad radical, y que disponer de una buena raíz es la base para conseguir un cultivo óptimo. Sin embargo, realizar un correcto manejo del riego no es tarea fácil ya que hay que aportar el agua que necesita la planta en dosis suficientemente pequeñas para no agotar excesivamente el contenido hídrico del sustrato y, a su vez, no se debe humedecer en exceso ya que esto favorece la asfixia radical y el desarrollo de hongos fitopatógenos.

El objetivo que se debe perseguir inicialmente es lograr la máxima colonización posible del sustrato por parte de las raíces, de forma que casi todo el volumen disponible resulte útil. Esto debe lograrse antes de que el cultivo muestre una gran fructificación ya que, a partir de ese momento, los fotoasimilados generados se dirigen preferentemente hacia los frutos en detrimento de la raíz. Dado que las raíces muestran predilección por las zonas en las que existe una mayor disponibilidad de agua (siempre que la aireación no resulte limitante) y de baja salinidad, es frecuente que la máxima concentración de raíces se encuentre debajo del gotero, mientras que la zona situada entre goteros esté poco colonizada. En los cultivos comerciales resulta normal disponer tres emisores de 2 o 3 L h<sup>-1</sup> de caudal por saco de cultivo con el fin de reducir el coste de la instalación. Sin embargo, esto determina una separación entre goteros excesivamente grande (50 cm), de forma que tienden a originarse importantes gradientes de humedad y de conductividad eléctrica que dificultan una óptima colonización del sustrato. La tendencia actual en Israel es la de reducir la distancia entre emisores (en torno a 20 cm) y utilizar goteros de muy bajo caudal (menos de 1 L h<sup>-1</sup>), lo que permite establecer un sistema de microirrigación que mantiene la humedad del sustrato muy estable.

Cuando se realiza siembra directa en el sustrato definitivo, teniendo en cuenta que se parte de un sustrato bien hidratado, no se debe regar durante el periodo de nascencia ya que eso puede favorecer el desarrollo de hongos, excepto si el sustrato se seca excesivamente y puede morir la semilla. A partir de la aparición de las primeras hojas verdaderas el riego puede normalizarse, aunque una cierta restricción tiende a favorecer un abundante desarrollo radical, que será clave para satisfacer la creciente demanda de agua y nutrientes por el cultivo.

En los primeros días después del trasplante, dado que el cultivo aún no ha enraizado y es sensible al estrés hídrico, debe regarse a diario, de forma que el aporte de agua resulta bastante excedentario. Cuando el trasplante se realiza en taco de lana de roca y este se coloca sobre el saco de cultivo, tiende a secarse rápidamente dado que dicho material retiene el agua a baja tensión. De este modo, hasta que las raíces logran anclarse en el sustrato definitivo, se deben dar varios riegos al día de corta duración, de forma que la planta siempre tenga agua fácilmente disponible.

Una vez que las raíces salen del taco y se anclan en el sustrato puede resultar conveniente restringir el riego, especialmente si el sustrato está muy hidratado, ya que eso tenderá a incentivar el desarrollo radical. No obstante, a la hora de llevar a cabo dicha restricción hay que evitar que el sustrato se seque excesivamente ya que eso no solo afecta negativamente al cultivo, sino que puede impedir la adecuada hidratación posterior del sustrato. Esto resulta especialmente importante en lana de roca, la cual tiene escasa capilaridad. Otra táctica que puede ayudar a mejorar la colonización del sustrato consiste en cambiar de posición las piquetas de los emisores, aunque hay que tener cuidado con el posible desplazamiento del frente salino.

Otro aspecto de gran importancia que influye decisivamente en el manejo del riego es la temperatura de la solución nutritiva. En plantaciones de verano coinciden un área foliar baja y temperaturas extremas y, dado que el cultivo no es capaz de sombrear aún las tuberías de riego, el agua alcanza en ellas temperaturas muy elevadas (más de 40 °C) durante el mediodía y la tarde. En tales condiciones resulta preferible no regar ya que de lo contrario facilitaríamos la muerte de las raíces. Hay que tener en cuenta que, en general, temperaturas radicales superiores a 30 °C pueden ser perjudiciales, aunque son mejor toleradas si van acompañadas de un contenido hídrico en el sustrato relativamente bajo. Por tanto, el riego quedará restringido al final de la tarde, la noche y primeras horas de la mañana, cuando la temperatura no es tan elevada. Conforme crece el cultivo, se incrementan las necesidades hídricas, por lo que deberemos aumentar el tiempo de riego, aunque limitándonos al horario mencionado. Esto puede implicar la necesidad de dar riegos largos en comparación con lo que sería teóricamente correcto desde el punto de vista de la retención de agua en el sustrato, pero resulta preferible. Cuando el cultivo alcanza un cierto porte, es capaz de sombrear las tuberías y, sobre todo, el sustrato, por lo que se calienta menos, de forma que es posible dar riegos al mediodía. No obstante, conviene que estos sean suficientemente largos como

para garantizar que salga por los goteros solución procedente de la tubería general exterior al invernadero, la cual se encuentra notablemente más fresca que la que estaba en los ramales interiores. De este modo, la temperatura media de la solución aportada se reducirá. Además, con riegos largos disminuiríamos el número de riegos necesario y el contenido hídrico medio del sustrato.

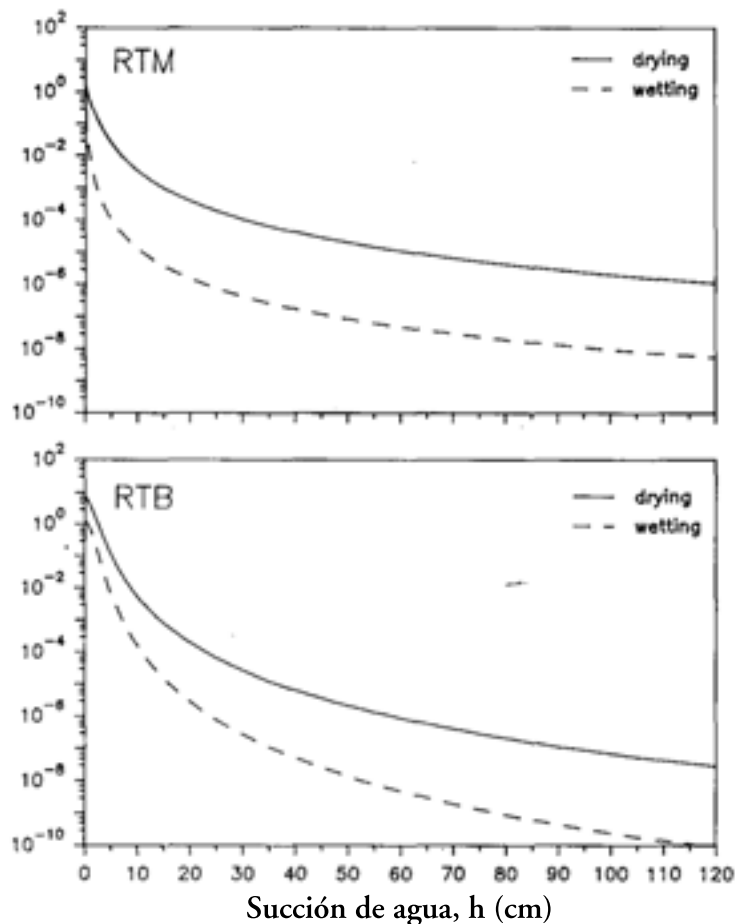
En plantaciones invernales se presenta la situación inversa, de forma que la temperatura de la solución es baja (menor de 15 °C). En este caso debemos regar al mediodía, cuando ya se ha calentado dicha solución en las tuberías.

### 3. Manejo posterior del riego

Tras conseguir una buena colonización del sustrato, resulta conveniente no limitar el aporte de agua al cultivo, con el fin de que este se desarrolle rápidamente y alcance un vigor suficiente que asegure una alta productividad. Además, cuando el cultivo entra en fructificación, resulta más sensible al estrés hídrico ya que pueden aparecer frutos deformes, con necrosis apical, etc. De este modo, si las condiciones ambientales lo permiten, conviene dar riegos cortos y frecuentes ya que así se agotará menos el contenido hídrico del sustrato y la raíz tendrá el agua más fácilmente disponible. Hay que tener en cuenta que el principal factor limitante a nivel del sustrato para la absorción de agua por el cultivo es la conductividad hidráulica, que es un parámetro que nos da una idea de la capacidad de dicho sustrato para transportar agua a través de sus poros hacia la raíz y reemplazar así la solución absorbida que se encontraba en el entorno radical. Sin embargo, la conductividad hidráulica no es constante para un material dado, sino que disminuye drásticamente conforme se reduce el contenido de humedad, tal como se observa en la Gráfico 1 para dos tipos diferentes de picón utilizados en Israel (RTM es un picón rojo consistente en partículas de 0 a 8 mm de tamaño obtenidas por cribado del producto natural, mientras que RTB es un picón rojo más grueso formado por partículas del mismo rango de tamaño pero obtenidas por fragmentación de partículas más grandes y posterior cribado del material a través de una criba de 8 mm (Raviv *et al.*, 2002)). Esto es debido a que, conforme se seca el sustrato, hay más poros rellenos de aire por los que no puede circular el agua y, además, esta queda confinada en poros pequeños, que tienen una superficie específica mayor, por lo que oponen mayor resistencia a la circulación del agua. Pasar tan solo de 0 a 5 hPa de tensión matricial puede significar una reducción de la conductividad hidráulica de casi 100 veces. Por tanto, solo se

deben permitir pequeñas oscilaciones del contenido hídrico del sustrato con el fin de optimizar el riego.

**Gráfico 1. Conductividad hidráulica calculada *vs.* tensión de succión  $K(\psi)$ , para picón de los tipos RTB y RTM. En  $\text{cm min}^{-1}$**



Fuente: Wallach *et al.* (1992); citado por Raviv *et al.* (2002).

Teóricamente el riego perfecto consistiría en aportar la solución nutritiva a la planta gota a gota conforme lo fuese necesitando, de forma que la humedad del sustrato se mantuviese constante. Sin embargo, en la práctica esto no se puede llevar a cabo y se aspira, por tanto, a provocar la menor oscilación posible. Generalmente se acepta el criterio de regar cuando se ha agotado el

5 % del agua fácilmente disponible más el agua de reserva, que es el contenido hídrico del sustrato retenido a una tensión comprendida entre 10 y 100 c.c.a. (Martínez y García, 1993).

Por otro lado, resulta necesario aplicar un exceso de agua en relación a la absorción del cultivo con el fin de evitar problemas derivados de las diferencias de transpiración entre plantas, la desuniformidad del riego y la acumulación de sales en el sustrato. Aunque se emplee agua de excelente calidad, se aconseja un porcentaje de drenaje mínimo del 15 % para tener una cierta facilidad de manejo (Lorenzo *et al.*, 1993). En condiciones de campo este valor se suele aumentar a un 20-25 % para gozar de mayor seguridad. Lógicamente, cuanto peor sea la calidad del agua de riego, mayor deberá ser el drenaje establecido con el fin de evitar que se sobrepasen ciertos niveles de salinidad en el sustrato que sean limitantes para el cultivo, los cuales dependerán de la especie y variedad de la que se trate, la etapa de desarrollo y las condiciones ambientales. Puede haber circunstancias que obliguen a descartar más del 50 % del agua aportada.

El volumen de riego a aplicar (V) será la suma del agua agotada en el sustrato (A) más el exceso que se pretende aportar (L), de forma que:

$$V = A + L = \frac{A}{1 - E}$$

La fracción de lixiviación (FL) necesaria se calcula en función del ion más limitante existente en el agua de riego usando la siguiente expresión (González, 2001):

$$E = \frac{C_s - C_a}{C_m - C_a}$$

donde:

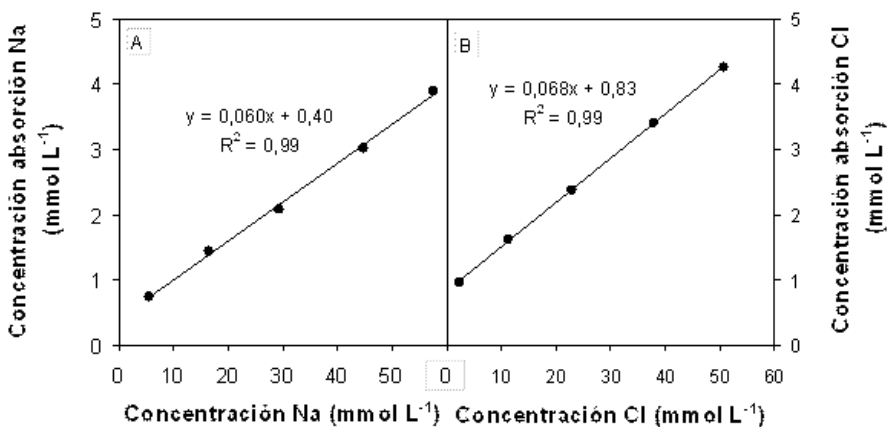
$C_s$  es la concentración del ion limitante en la solución nutritiva.

$C_a$  es la concentración de absorción para ese ion, es decir, la cantidad del mismo absorbida por cada volumen de agua absorbido.

y  $C_m$  es la concentración máxima permitida para ese ion en el lixiviado.

Frecuentemente, la sal más abundante presente en el agua de riego es el cloruro sódico, de forma que los iones más limitantes son el sodio y los cloruros. La concentración de absorción de ambos iones no es constante, sino que tiende a aumentar linealmente al hacerle su concentración en la solución radical. En la figura 2 se muestra la relación obtenida experimentalmente entre ambos parámetros para ambos iones en un cultivo de tomate larga vida sometido a diferentes niveles de salinidad en las condiciones de los invernaderos del sureste peninsular.

**Gráfico 2. Relación entre la concentración media de sodio en la solución recirculante y la concentración de absorción media de sodio (A) y entre la concentración media de cloruros en la solución recirculante y la concentración de absorción media de cloruros (B) en un cultivo de tomate larga vida bajo invernadero en el sureste peninsular**



Fuente: Magán (2005).

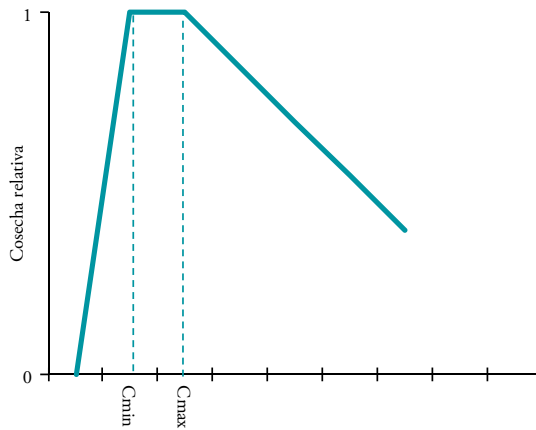
En lo que se refiere a la concentración máxima permitida para el ion limitante en el lixiviado, esta va a depender del nivel de salinidad admitida por el cultivo. La respuesta productiva a la salinidad sigue el modelo representado en la figura 3. Se observa que existe una meseta en la cual se alcanza la producción máxima. Por debajo de la conductividad eléctrica  $c_{\min}$  se obtiene una reducción de dicha producción debido a un aporte subóptimo de nutrientes. Del mismo modo, por encima del valor de conductividad  $c_{\max}$  disminuye linealmente la producción debido a un efecto salino. La máxima acumulación

de iones nocivos sin que se produzcan pérdidas productivas se logrará manteniendo la salinidad de la solución radical próxima a este segundo valor, pero de forma que la conductividad debida a los nutrientes sea la correspondiente al primer umbral. Por tanto, resultará admisible una acumulación de iones nocivos equivalente a la diferencia entre ambas conductividades. Para el caso del cloruro sódico, la relación existente entre la conductividad eléctrica debida a esta sal ( $CE_{(NaCl)}$ ) y su concentración milimolar en la solución ( $c_{(NaCl)}$ ) es, según Sonneveld (2000):  $CE_{(NaCl)} = 0,115 c_{(NaCl)}$  (fórmula válida para una concentración menor de 50 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl).

Con el fin de poder aplicar en la práctica este modelo, es necesario determinar experimentalmente los valores de  $c_{min}$  y  $c_{max}$ . Según Sonneveld (2000), una conductividad eléctrica debida a nutrientes en torno a 1,5 dS m<sup>-1</sup> puede ser suficiente para obtener máxima producción en tomate. Asimismo, en cultivo de rosa se recomienda un valor de 1,8 dS m<sup>-1</sup> (de Kreij *et al.*, 1997). No obstante, dicha conductividad mínima necesaria debida a nutrientes va a verse afectada por las condiciones de cultivo. Así por ejemplo, cuando se realiza un aporte muy abundante de solución nutritiva, como ocurre en NFT, la solución radical es frecuentemente renovada y resultan admisibles concentraciones de nutrientes más bajas de lo normal. Por otro lado, en condiciones de baja transpiración los nutrientes tienden a ser absorbidos a mayor concentración, por lo que la conductividad debida a nutrientes debe ser mayor con el fin de evitar que sean agotados en la rizosfera (Sonneveld y van den Bos, 1995). Es evidente que se requiere una mayor investigación con el fin de determinar con precisión el valor de  $c_{min}$ .

En cuanto a la conductividad máxima tolerada por el cultivo sin que se produzcan pérdidas productivas y a la pendiente de descenso de la producción por encima de dicha conductividad, estos parámetros van a depender de la especie de la que se trate y de las condiciones ambientales existentes, por lo que deberían ser determinados en las condiciones locales de cultivo. En experimentos realizados con tomate larga vida bajo invernadero en el sureste peninsular se ha obtenido un valor umbral en torno a 3,5 dS m<sup>-1</sup> (Magán *et al.*, 2008). Por encima de ese valor la cosecha comercial se redujo linealmente a razón de un 8 a un 12 %, aproximadamente, por cada incremento unitario de conductividad dependiendo del experimento, aunque se obtuvo una mejora gradual de la calidad del fruto. El nivel de salinidad óptimo dependerá de las exigencias del mercado.

**Gráfico 3. Efecto de la conductividad eléctrica (CE) del medio radical sobre la cosecha del cultivo**



Fuente: Sonneveld (2000).

Conforme crece el cultivo, aumenta la absorción de agua y disminuye paulatinamente el volumen lixiviado si se mantiene constante el aporte. Por tanto, dicho volumen de lixiviación debe controlarse desde un inicio para evitar situaciones de deficiencia. Para ello se utiliza la denominada bandeja de drenaje, que permite recoger el lixiviado de varias unidades de cultivo representativas de la parcela y acumularlo en un recipiente para cuantificarlo diariamente. Al mismo tiempo se recoge el agua arrojada por un gotero y, comparando ambos volúmenes, se calcula el porcentaje de drenaje, que es el tanto por ciento de agua sobrante con respecto a la aportada. Este valor se intentará mantener próximo a la fracción de lixiviación calculada teóricamente, la cual será corroborada mediante los análisis químicos que se realicen de la solución lixiviada.

Cuando el porcentaje de drenaje medido resulta menor que el que se pretende mantener, será necesario incrementar el número de riegos diario. Este aumento será progresivo conforme crece el cultivo. Los riegos habrá que repartirlos adecuadamente a lo largo del día para ajustarlos lo mejor posible a las necesidades hídricas de la planta, sin que se produzcan riegos claramente excedentarios y otros con escaso drenaje. En definitiva, el lixiviado deberá ser homogéneo a lo largo del día.

Este tipo de programación se denomina horaria y es la que se suele emplear cuando la planta es pequeña. En ella se estiman las necesidades de agua

del cultivo en base a los datos del día anterior y las previsiones realizadas para el día actual y, dividiéndolas por el volumen establecido para cada riego, se calcula el número de riegos necesario. Finalmente se indica al programador la hora de inicio de los mismos teniendo en cuenta lo comentado anteriormente. No obstante, este sistema puede sufrir importantes desajustes ya que las condiciones ambientales pueden variar bruscamente de un día a otro. Por ello, cuando la planta adquiere un cierto porte, se suelen emplear automatismos de control que resultan mucho más precisos. De ellos se hablará en el siguiente apartado.

Al igual que es importante mantener una hidratación del sustrato suficiente para que el cultivo no sufra estrés hídrico, resulta fundamental disponer de un volumen suficiente de aire (al menos el 25 % del volumen de poros) que evite problemas de asfixia radical. Si el balance aire-agua es inadecuado (excesiva o escasa retención de agua), se debe actuar sobre el riego con el fin de corregir dicha situación. Así, se darán riegos más cortos de lo habitual pero con mayor frecuencia, si el sustrato se secó en exceso, para fomentar su rehidratación, y más largos pero más espaciados si retiene demasiada agua, a la vez que se acortará por la tarde el periodo de riego, para conseguir su desecación.

Durante el invierno el riego se ve condicionado por las bajas temperaturas que alcanzan la solución nutritiva y el sustrato, con el fin de minimizar su efecto sobre la muerte radical. De cara a este periodo resulta interesante reducir el contenido hídrico del sustrato ya que, al disminuir los niveles de transpiración del cultivo, no existe tanto riesgo de que este sufra estrés hídrico y la raíz soportará mejor las bajas temperaturas. Por otro lado, hay que poner especial cuidado a la hora de definir el periodo de activación de los riegos durante el día. Así, por la mañana no se debe empezar a regar hasta que la temperatura del sustrato haya superado, al menos, 12 °C pues, por debajo, la raíz apenas muestra actividad. Por la tarde se debe terminar de regar pronto (en torno a las 14 horas solares, aunque esto depende del contenido de agua del sustrato), con el fin de que se agote parcialmente el agua del sustrato de cara a la bajada de temperatura durante la noche. El objetivo es conseguir una reducción del contenido hídrico del 5 % (e incluso hasta el 10 % dependiendo del tipo de sustrato), de forma que no se obtenga drenaje alguno en el primer riego del día siguiente. Aunque esto supone un ascenso notable de la conductividad eléctrica de la solución radical a lo largo de la noche, resulta perfectamente tolerado por el cultivo. Además de disminuir el riesgo de ataque de hongos a nivel radical (especialmente *Phytium*), con ello se consigue reducir la presión de raíz a primera hora de la mañana, por lo que habrá menos probabilidad de

rajado del fruto. En días fríos y lluviosos es conveniente parar el riego ya que la demanda evaporativa es escasa y no hay ningún problema en aprovechar la reserva de agua del sustrato.

En cultivos en los que la calidad de la producción viene muy determinada por el contenido en sólidos solubles, tales como el melón o la sandía, conviene restringir el riego la semana previa a la recolección con el fin de conseguir una mayor concentración de los azúcares. Para ello se reduce el drenaje al mínimo, de forma que la conductividad eléctrica de la solución del sustrato tenderá a aumentar.

#### **4. Automatización del riego**

Cuando el cultivo alcanza un cierto porte y es necesario dar varios riegos al día, resulta muy útil el empleo de sistemas de control automáticos, los cuales detectan el consumo de agua de la planta a tiempo real e indican el momento de inicio del riego de forma bastante ajustada.

Sin lugar a dudas, el sistema más empleado en España es la bandeja de demanda. Esta incorpora un canalón lateral relleno de solución en el que existe un tornillo regulable, que manda una señal eléctrica cuando queda fuera del agua, comenzando así el riego. La planta absorbe la solución del canalón a través de una manta hidróscopica y, de este modo, desciende el nivel de agua. Se trata, por tanto, de un sistema de control directo.

La bandeja de demanda es un automatismo muy útil y práctico, aunque el ajuste del riego que realiza no es totalmente perfecto. Así, en los momentos del día de mayor demanda hídrica (mediodía) se consigue un drenaje menor que en aquellos con demanda más baja (por la tarde). Como ya se comentó anteriormente, esta situación no es la ideal y por ello se han tratado de usar otros sistemas de control del riego.

El método de radiación es un sistema indirecto ya que utiliza un solarímetro para medir la radiación global incidente y el riego se activa en función de este parámetro. Cuando se alcanza un cierto valor de radiación acumulada, que previamente habrá sido indicado al programador, comienza el riego y el contador se pone a cero para iniciar un nuevo ciclo. El problema de este método es que la correlación entre radiación y transpiración del cultivo no es perfecta y, al no tener en cuenta otros factores ambientales, tales como la temperatura o el déficit de presión de vapor, que también influyen sobre dicha

transpiración, se producen importantes desajustes a lo largo del día, que no son tolerables en cultivo sin suelo.

Para evitar este problema, se ha tratado de mejorar el sistema de radiación incorporando algunas modificaciones. Una posibilidad consiste en dividir el día en varios periodos y asignar un factor de radiación acumulada distinto para cada uno de ellos. Sin embargo, aunque el ajuste a lo largo del día resulta mejor, es necesaria una reprogramación diaria de dichos factores, ya que dependen de las condiciones ambientales existentes. Otra posibilidad consiste en combinar el solarímetro con una bandeja de drenaje «inteligente», la cual mide el lixiviado producido de forma automática mediante pulsos. De esta forma el programador es capaz de modificar por sí mismo y mediante el software adecuado el factor de radiación y ajustarlo a lo largo del día. El problema es que este sistema actúa a posteriori, es decir, trata de corregir los desajustes ya producidos.

Otro método de automatización del riego muy interesante es el empleo de modelos de estimación de la transpiración. Consisten en medir a tiempo real los diferentes parámetros ambientales que influyen sobre dicho proceso y en integrarlos en un programa informático adecuado, capaz de calcular la transpiración del cultivo. De esta forma, cuando se alcanza un cierto valor que previamente se habrá establecido como consigna, se activa el riego. Este sistema puede actuar con gran precisión pero requiere de investigación previa para ajustar el modelo a la zona concreta donde va a ser usado. Además, requiere la estimación del área foliar del cultivo y esto puede originar desajustes notables.

Otros sistemas de automatización del riego tales como la medida del potencial matricial del sustrato mediante tensiómetros, del contenido volumétrico de agua mediante sensores tipo FDR o de la transpiración del cultivo mediante balanza electrónica también pueden emplearse en cultivo sin suelo, pero hasta el momento están menos extendidos que los sistemas anteriores.

## 5. Diseño de la solución nutritiva

Dado que los sistemas de cultivo sin suelo presentan una baja inercia debido al escaso volumen de sustrato en el que se desarrollan las raíces y a que frecuentemente utilizan materiales con una capacidad de intercambio iónico pequeña o nula (lana de roca, perlita, etc.), resulta fundamental aportar todos los nutrientes minerales que necesita el cultivo junto con el agua de riego en forma de solución nutritiva. Dicho aporte deberá realizarse en la cantidad y

proporciones adecuadas para evitar posibles deficiencias o toxicidades y competencias entre iones.

Dado que las concentraciones de absorción de nutrientes por parte de la planta no son iguales que las concentraciones iónicas existentes en la solución radical, tampoco tienen que serlo las de la solución de aporte. Estas serán mayores o menores que en el entorno de la raíz dependiendo de la facilidad de la planta para tomar cada ion. Así por ejemplo, el amonio, los fosfatos o el potasio, que son iones de fácil absorción, se pueden aportar a una concentración inferior a la concentración de absorción, lo que va a reducir su nivel en la raíz sin que se afecte el cultivo y a disminuir las pérdidas por lixiviación. En cambio, en el caso de aquellos iones que la planta absorbe de forma pasiva o con dificultad como es el caso del calcio, habrá que aportarlos a una concentración superior a su concentración de absorción para que se acumulen en la rizosfera y se «fuerce» su entrada en la planta, lográndose así su máximo potencial de absorción.

La concentración de cada ion en la solución de aporte se puede calcular matemáticamente mediante la siguiente expresión (González, 2001):

$$C_s = C_a * (1 - FL) + C_d * FL = \frac{C_a * (1 - FL)}{1 - R * FL}$$

en donde:

$C_s$  es la concentración del ion para el que se realiza el cálculo en la solución de aporte.

$C_a$  es la concentración de absorción para ese ion.

$C_d$  es la concentración del ion en el drenaje.

FL es la fracción de lixiviación establecida.

R es el cociente entre  $C_d$  y  $C_s$ .

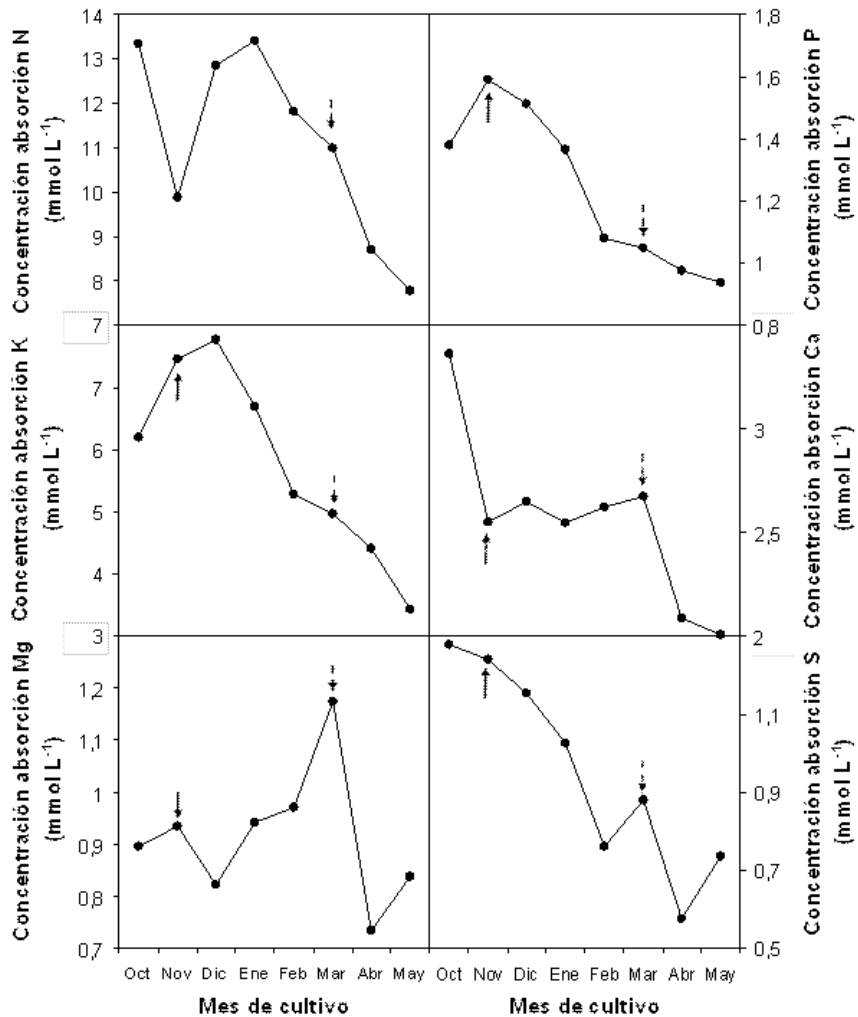
Las concentraciones de absorción no son constantes a lo largo del cultivo, sino que varían en función de la etapa de desarrollo y de las condiciones ambientales, fundamentalmente. Es sabido que dichas concentraciones tienden a disminuir al aumentar la tasa de transpiración del cultivo, de forma que se debe reducir la concentración en la solución de aporte con el fin de evitar una excesiva acumulación en el drenaje y unos mayores requerimientos de lixiviación. Es por ello que las soluciones aportadas en primavera-verano son

más diluidas que en invierno. Asimismo a lo largo del día también varían las concentraciones de absorción, resultando menores al mediodía. Con el fin de evitar un aumento de la conductividad eléctrica de la solución radical, sería conveniente aportar una solución más diluida en ese periodo del día, aunque las instalaciones de riego actuales frecuentemente no están preparadas para realizar este manejo de forma adecuada.

En lo que se refiere a la etapa de desarrollo del cultivo, esta también influye decisivamente en las concentraciones de absorción de nutrientes. Así, durante la fase inicial, el cultivo muestra un fuerte desarrollo vegetativo por lo que la concentración correspondiente al nitrógeno resulta alta. Sin embargo, conforme avanza la fructificación, se reduce el crecimiento y aumentan las necesidades en potasio, por lo que se incrementa la concentración de absorción de este elemento y disminuye la de nitrógeno. En la figura 4 se muestra la evolución de las concentraciones de absorción de los diferentes macronutrientes en un cultivo de tomate bajo invernadero en el sureste peninsular trasplantado a mediados de septiembre y mantenido hasta principios de junio.

En el caso del nitrógeno, su concentración de absorción alcanzó inicialmente valores altos (más de  $13 \text{ mmol L}^{-1}$ ) debido al fuerte desarrollo vegetativo del cultivo. Sin embargo, en noviembre sufrió un brusco descenso (en torno a  $10 \text{ mmol L}^{-1}$ ) como consecuencia de la creciente carga de fruto y la ralentización del crecimiento. Posteriormente volvió a recuperarse debido, posiblemente, al inicio de la recolección y la reactivación de dicho crecimiento. A partir del mes de febrero y hasta el final del experimento tuvo lugar una reducción progresiva de la concentración de absorción del nitrógeno provocado por el aumento de la transpiración del cultivo, el despunte de este y el subsiguiente menor crecimiento. Esta última fase de reducción también se produjo para otros nutrientes tales como fósforo, potasio o azufre.

**Gráfico 4. Evolución de las concentraciones de absorción de los distintos macronutrientes en un cultivo de tomate larga visa bajo invernadero en el sureste peninsular**



\* Las flechas continuas señalan el inicio de la recolección y las discontinuas el despunte del cultivo.

Fuente: Magán (2005).

En el caso del potasio, la evolución en los primeros meses de cultivo fue opuesta a la del nitrógeno, de forma que aumentó notablemente en noviembre respecto a octubre como consecuencia del mayor número de frutos existentes simultáneamente en la planta y la fuerte demanda de estos por dicho nutriente. En cuanto al calcio, sus correspondientes concentraciones de absorción fueron bastante estables durante buena parte del experimento (en torno a  $2,5 \text{ mmol L}^{-1}$ ), aunque en octubre alcanzaron valores muy altos (próximos a  $3,5 \text{ mmol L}^{-1}$ ) debido al fuerte desarrollo vegetativo, y al final del cultivo disminuyeron a valores de  $2 \text{ mmol L}^{-1}$ . Por el contrario, el magnesio tendió a aumentar a lo largo del experimento como consecuencia de una cierta acumulación progresiva de este elemento, ya que el cultivo se manejó en sistema cerrado y la concentración en el agua de refresco era ligeramente superior a la concentración de absorción. El descenso en abril pudo ser debido a la renovación de la solución recirculante a finales de marzo y al aumento de la transpiración del cultivo.

El cociente entre la concentración de un ion en el drenaje y su concentración en la solución de aporte (R) depende de la facilidad con la cual la planta es capaz de absorberlo, tal como se comentó anteriormente. En la Tabla 1 se muestran las relaciones que usualmente aparecen entre ambas concentraciones.

Con toda esta información es posible calcular las concentraciones requeridas de los diferentes iones en la solución de aporte. No obstante, en el sureste peninsular ya existe una cierta experiencia sobre los cultivos sin suelo que permite conocer con una buena aproximación las concentraciones a las que deben aportarse los diferentes iones para satisfacer adecuadamente las necesidades de las especies hortícolas cultivadas en la zona. En la Tabla 2 se indican los valores máximos y mínimos entre los que suelen oscilar dichas concentraciones.

Realmente las diferencias en las necesidades nutritivas entre especies y variedades no son tan grandes como suele pensarse. Además las plantas presentan una gran capacidad de adaptación y con frecuencia otros factores productivos resultan más limitantes que los estrictamente nutricionales, sobre todo en invernaderos de clima pasivo, en los que el control ambiental está bastante limitado. De este modo, son más importantes las modificaciones que hay que realizar en la solución nutritiva en función de la etapa de desarrollo que de la especie hortícola cultivada. En este sentido, al principio del cultivo suelen aportarse soluciones con una alta concentración de nitrógeno ( $12\text{-}15 \text{ mmol L}^{-1}$ ) y de calcio ( $4\text{-}5 \text{ mmol L}^{-1}$ ) y con una concentración de potasio media ( $5\text{-}6 \text{ mmol L}^{-1}$ ), debido al fuerte desarrollo vegetativo y la ausencia de fruto. Posteriormente, es

necesario aumentar la concentración de potasio (7-8 mmol L<sup>-1</sup>) para satisfacer la demanda de los frutos y reducir la de nitrógeno (en torno a 10 mmol L<sup>-1</sup>) para evitar que se acumule excesivamente en el drenaje. Conforme avanza el cultivo, especialmente si nos encaminamos hacia un periodo de mayor transpiración, habrá que diluir en general la solución nutritiva con el fin de evitar un aumento de la conductividad eléctrica en el drenaje y la necesidad de incrementar la fracción de lixiviación para contrarrestarlo.

**Tabla 1. Relaciones más usuales entre las concentraciones iónicas en las soluciones de aporte y drenaje en un sustrato inerte**

| ION                                         | Concentración en la solución de aporte (%) | Concentración en la solución de drenaje (%) |
|---------------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------|
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>                | 100                                        | 75-125                                      |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>                | 100                                        | 0-50                                        |
| H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> | 100                                        | 50-75                                       |
| K <sup>+</sup>                              | 100                                        | 50-75                                       |
| Ca <sup>++</sup>                            | 100                                        | 125-200                                     |
| Mg <sup>++</sup>                            | 100                                        | 150-250                                     |
| SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>                | 100                                        | 150-250                                     |
| pH                                          | 100                                        | +0,5 ud                                     |
| CE                                          | 100                                        | +1-2 ud                                     |

Fuente: Cánovas (1998); Casas (1999).

**Tabla 2. Rangos en los que suelen oscilar las concentraciones de los distintos nutrientes en las soluciones de aporte empleadas en el sureste peninsular**

| Macroelementos |                      | Microelementos |           |
|----------------|----------------------|----------------|-----------|
| Elementos      | mmol L <sup>-1</sup> | Elementos      | ppm       |
| Nitratos       | 8-15                 | Hierro         | 1-2       |
| Fosfatos       | 1-2                  | Manganeso      | 0,6-1     |
| Sulfatos       | 1-2,5                | Cobre          | 0,05-0,1  |
| Calcio         | 3,5-5                | Zinc           | 0,2-0,5   |
| Potasio        | 4-8                  | Boro           | 0,2-0,5   |
| Magnesio       | 1-2,5                | Molibdeno      | 0,04-0,05 |

Cuando resultan necesarios porcentajes de lixiviación elevados (40-50 %) para evitar acumulaciones salinas excesivas debido a la mala calidad del agua de riego, es posible reducir un poco las concentraciones de los elementos de

fácil absorción tales como nitrógeno, fósforo o potasio, de forma que así disminuye la conductividad de la solución. Además, este último elemento no es necesario en un nivel muy elevado pues la alta salinidad aporta suficiente calidad al fruto obtenido (Cánovas, 1995) y el sodio ejerce de antagonista del potasio y lo reemplaza en algunas de sus funciones en la planta.

## 6. Seguimiento del cultivo

A diario es conveniente cuantificar el drenaje producido y, al mismo tiempo, medir la conductividad eléctrica y el pH del mismo, así como de la solución nutritiva aportada. Los desajustes de esta última con respecto a los valores de consigna introducidos en el programador de riego, indican la existencia de alguna anomalía en el cabezal de riego que será necesario corregir (inadecuada calibración o mal estado de las sondas de conductividad eléctrica o pH, cambio de la calidad del agua de riego, preparación equivocada de las soluciones madre, etc). Normalmente ocurre que el pH de la solución de aporte es algo mayor que el valor de consigna y ello se debe a que con la neutralización de los bicarbonatos se produce ácido carbónico, que es inestable y se va a la atmósfera en forma de  $\text{CO}_2$ . Sin embargo, en el momento mismo del ajuste no se ha marchado totalmente y, al hacerlo con posterioridad, la solución pierde parte de su efecto acidificante y sube ligeramente su pH. Por ello, para conseguir un valor final de 6-6,5, se suele indicar al programador otro de 5,3-5,5. En cuanto a la conductividad, no deben existir diferencias importantes entre el valor medido y el de consigna.

En el drenaje, generalmente, la conductividad se sitúa por encima del valor correspondiente a la solución de aporte, y esta acumulación puede llegar a ser de más de dos unidades. No obstante, dependiendo de la especie de la que se trate y de las condiciones ambientales existentes, se fijará un valor máximo de conductividad en el drenaje que no se debe superar con el fin de alcanzar producciones aceptables. Si resulta mayor, será necesario entonces aumentar el porcentaje de lixiviación o modificar la solución de aporte, disminuyendo las concentraciones de nutrientes.

Aunque resulta menos frecuente, hay ocasiones en las que la conductividad del drenaje es inferior a la de aporte. Esto sucede cuando se emplean aguas de buena calidad y el cultivo se encuentra en la etapa inicial de su desarrollo, de forma que presenta un rápido crecimiento y unas altas concentraciones de absorción.

En lo que se refiere al pH del drenaje, este puede ser mayor o menor que el de aporte dependiendo del balance iónico de la solución absorbida por el cultivo. De este modo, si se produce una mayor absorción de aniones que de cationes, tiene lugar una absorción neta de  $H^+$ , por lo que sube el pH del medio radical. Por el contrario, si se absorben más cationes que aniones, se liberan  $H^+$  y baja el pH. La primera situación es típica de cultivos jóvenes con rápido crecimiento ya que absorben muchos nitratos. Para tratar de compensarlo, conviene aumentar el aporte de nitrógeno en forma amoniacal, equilibrándose mejor el balance entre aniones y cationes. En cuanto a la segunda situación, esta es típica de cultivos en maduración ya que la absorción de potasio es elevada, mientras que la de nitratos es reducida debido al escaso crecimiento, y puede llegar a ser crítica cuando se alcanzan valores de pH muy bajos (en torno a 4), como ocurre a veces en melón. Para contrarrestarlo será necesario no incorporar amonio (salvo el que lleva el nitrato cálcico), subir el pH de la solución aportada e incluso a veces hay que recurrir a aumentar el poder tampón de dicha solución añadiendo hidróxido potásico o bicarbonato potásico.

En lo que se refiere a los análisis químicos, resulta aconsejable analizar conjuntamente las soluciones nutritivas de aporte y drenaje ya que a veces se presentan valores anómalos en esta última debido a que la primera resulta incorrecta, como consecuencia de un desajuste en la inyección de fertilizantes, en la preparación de las soluciones madre, etc. Asimismo, si se sospecha que ha cambiado la composición del agua de riego, se debe analizar esta para reestructurar el abonado.

La solución drenada debería analizarse mensualmente para comprobar que el comportamiento del cultivo se ajusta a nuestras previsiones, o por el contrario este presenta una absorción de nutrientes diferente a la inicialmente supuesta. Dicha comprobación se realizará teniendo en cuenta la solución nutritiva de aporte y el comportamiento normal de los diferentes iones, el cual queda reflejado en la Tabla 1. Si la concentración de un determinado ion en el drenaje resulta excesivamente baja o elevada en base a esas referencias, habrá que alterar adecuadamente la solución nutritiva aportada. Resulta especialmente importante realizar una comprobación durante la fase de máxima fructificación ya que, como se ha comentado anteriormente, en ella cambia sustancialmente la absorción de nutrientes. Asimismo, debe llevarse a cabo en el caso de que aparezca cualquier deficiencia nutricional. En tal situación puede resultar muy útil un análisis foliar con el fin de complementar la información.

A veces es posible observar incorrecciones en el desarrollo de la planta que no se pueden detectar mediante análisis químicos de la solución nutritiva ya que se deben a problemas radicales o ambientales que dificultan la absorción de nutrientes, aunque estos se encuentren en la solución a dosis correctas (Cánovas, 1995). Por tanto será necesaria la observación atenta del cultivo para detectar rápidamente las posibles alteraciones que puedan producirse y corregirlas a tiempo. En especial, resulta importante controlar el nivel de hidratación del sustrato pues, si es elevado, puede originar problemas de oxigenación en las raíces y la muerte de las mismas, y, por el contrario, si es bajo, la planta puede sufrir déficit hídrico, lo que repercutiría gravemente sobre el rendimiento del cultivo.

## Referencias bibliográficas

- CÁNOVAS, F. (1995): «Manejo del cultivo sin suelo»; en NUEZ, F., ed.: *El cultivo del tomate*. Madrid, ed. Mundi-Prensa; pp. 227-254.
- CÁNOVAS, F. (1998): «Gestión de riegos y fertirrigación en invernadero»; en PÉREZ-PARRA, J. y CUADRADO, I. M., ed.: *Tecnología de invernaderos II. Curso Superior de Especialización*. FIAPA, Consejería de Agricultura y Pesca y Caja Rural de Almería; pp. 237-250.
- CASAS, A. (1999): «Seguimiento analítico de los cultivos: características de la zona que condicionan la solución nutritiva. Ajustes específicos»; en Fernández, M.; Cuadrado, I. M., ed.: *Cultivos sin suelo II. Curso Superior de Especialización*. Consejería de Agricultura y Pesca, FIAPA y Caja Rural de Almería; pp. 267-286.
- DE KREIJ, C.; VOOGT, W.; VAN DEN BOS, A. L. y BAAS, R. (1997): «Voeding-soplossingen loor de teelt van roos in gesloten teeltsystemen»; *Proefstation voor Bloemisterij en Glasgroente, Brochure VG (4)*; p. 35.
- González, A. J. (2001): *Balance de concentraciones en cultivos sin suelo. Aplicaciones*. Almería, Instituto de Estudios Almerienses de la Diputación de Almería; p. 147.
- LORENZO, P.; MEDRANO, E. y GARCÍA, M. (1993): «Irrigation management in perlite»; *Acta Horticulturae (335)*; pp. 429-434.

- MAGÁN, J. J. (2005): *Respuesta a la salinidad del tomate larga vida en cultivo sin suelo recirculante en el sureste español*. Tesis doctoral. Universidad de Almería; p. 171.
- MAGÁN, J. J.; GALLARDO, M.; THOMPSON, R. B. y LORENZO, P. (2008): «Effects of salinity on fruit yield and quality of tomato grown in soil-less culture in greenhouses in Mediterranean climatic conditions»; *Agricultural Water Management* (95); pp. 1041-1055.
- MARTÍNEZ, E. y GARCÍA, M. (1993): *Cultivos sin suelo: hortalizas en clima mediterráneo*. Reus, ediciones de Horticultura; p. 123.
- RAVIV, M.; WALLACH, R.; SILBER, A. y BAR-TAL, A. (2002): «Substrates and their analysis»; en SAVVAS, D. y PASSAM, H., ed.: *Hydroponic production of vegetables and ornamentals*. Atenas, Embryo publications; pp. 25-101.
- SONNEVELD, C. (2000): *Effects of salinity on substrate grown vegetables and ornamentals in greenhouse horticulture*. Tesis doctoral. Universidad de Wageningen; p. 151.
- SONNEVELD, C. y VAN DEN BOS, A. L. (1995): «Effects of nutrient levels on growth and quality of radish (*Raphanus sativus* L.) grown on different substrates»; *Journal of Plant Nutrition* 18(3); pp. 501-513.
- WALLACH, R.; DA SILVA, F. F. y CHEN, Y. (1992): «Unsaturated hydraulic characteristics of tuff (scoria) from Israel»; *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* (117); pp. 415-421.



# ¿Residuos? Productos con otras calidades y distintas aplicaciones

*Alfonso Sevilla Portillo, Miguel Ángel Domene Ruiz,  
Mercedes Uceda de la Maza, Dolores Buendía Guerrero,  
José Luis Racero Luque-Romero*  
Estación Experimental de Cajamar 'Las Palmerillas'

## 1. Resumen

La agricultura intensiva de invernadero funciona en un régimen parecido al de la producción industrial con un consumo constante de recursos varios, una producción regular de hortalizas y como consecuencia la formación de un producto de rechazo que incluye distintos materiales inorgánicos tales como plásticos o metales y sobre todo una fracción orgánica que abarca las podas de plantas durante el cultivo, la planta cuando se arranca y hasta la parte de los frutos que no se haya comercializado.

El listado de esas fracciones ha pasado de ser un residuo sin otro tratamiento que el traslado a vertedero al de un producto reciclable de forma que la práctica totalidad de los llamados residuos son ya parte de nuevos procesos que valorizan los rechazos y los devuelven al ciclo productivo en otro nivel.

El artículo repasa el tipo de fracción que se genera en cada etapa y sintetiza las formas de revalorizar las distintas fracciones profundizando sobre la fracción orgánica y la solución a base del compostaje puesta en práctica en la Estación Experimental de Cajamar 'Las Palmerillas'.

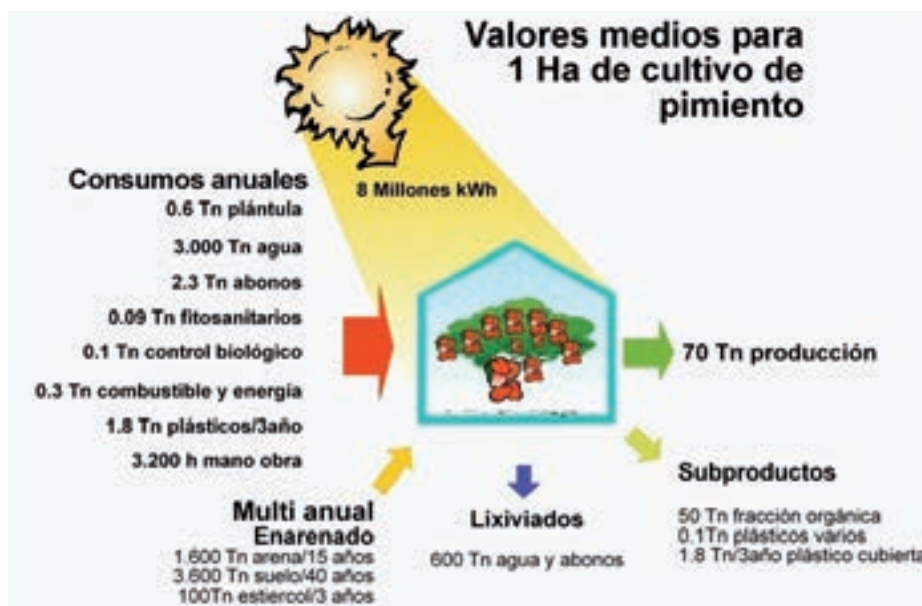
## 2. Desglose de los productos que genera un invernadero

La agricultura intensiva tiene un marco de trabajo asimilable al de un proceso industrial. Utiliza como materia prima un recurso renovable como es la radiación solar, otra serie de recursos naturales como el terreno y el agua y una cantidad de insumos (combustibles, abonos, fitosanitarios, plásticos, substratos, etc.) para producir un producto de consumo que son las hortalizas, los frutos o las flores.

El proceso lleva aparejado la producción de residuos en forma líquida (lixiviados, restos de abonos y fitosanitarios), otra sólida no orgánica (bandejas, contenedores, substratos, plásticos, tierra, pilas, material sanitario) y la fracción más voluminosa que componen los restos orgánicos generados durante el crecimiento de la planta y el arranque de la cosecha.

A diferencia del proceso industrial, en este caso el producto final puede pasar a ser parte del residuo. En función de cómo se desarrolle el cultivo y cual sea la situación del mercado se puede dar el caso de destruir parte o toda la producción aumentando de forma significativa el problema de la generación de residuos.

**Figura 1. Esquema del flujo de recursos y de producción de residuos en una hectárea de invernadero «tipo Almería» de cultivo de pimiento**



Si bien el esquema anterior da una idea global de lo que ocurre en un invernadero dedicado al cultivo del pimiento, a la hora de enmarcar la gestión de los residuos hay que llegar al detalle de día a día ya que la acepción general de plástico o materia orgánica esconde tanta diversidad que varios productos del mismo capítulo pueden ser distintos tanto en su composición química como en su estado de degradación y necesitar soluciones muy diferenciadas.

**Tabla 1. Residuos tipo producido en un invernadero**

| Tipo de residuo               |                                  | Comentario                                                     |
|-------------------------------|----------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| Vegetal                       | Fruto de destrío                 | Reciclable, problemas de frecuencia y composición.             |
|                               | Destalle                         | Reciclable                                                     |
|                               | Resto vegetal de fin de campaña  | Reciclable con problemas por llevar envuelto varias fracciones |
| Plásticos en lámina           | Film plástico de cubierta        | Reciclable                                                     |
|                               | Malla antiinsectos               | Reciclable                                                     |
|                               | Malla de sombreo                 | Reciclable                                                     |
|                               | Doble techo                      | Reciclable                                                     |
|                               | Solarización                     | Reciclable                                                     |
|                               | Acolchados                       | Reciclable                                                     |
|                               | Atado de rafia                   | Reciclable con problemas de manejo                             |
|                               | Clips o anilla                   | Reciclable con problemas de manejo                             |
| Plásticos en envase           | Envases plásticos fitosanitarios | Reciclable                                                     |
|                               | Envases plásticos abonos         | Reciclable                                                     |
|                               | Sacos plásticos                  | Reciclable                                                     |
| Tuberías de riego             | Goteros                          | Reciclable                                                     |
| Substrato                     | Fibra de vidrio                  | Difícilmente reciclable                                        |
|                               | Lana de roca                     | Difícilmente reciclable                                        |
|                               | Fibra de coco                    | Reciclable                                                     |
|                               | Perlita                          | Difícilmente reciclable                                        |
| Soportes plásticos de plantas | Bandejas poliestireno            | Reciclable                                                     |
|                               | Bandejas de plantas              | Reciclable                                                     |
|                               | Macetas                          | Reciclable                                                     |
| Varios                        | Alambres                         | Reciclable                                                     |
|                               | Palés de madera                  | Reciclable                                                     |
|                               | Trampas contra insectos          | Reciclable                                                     |
|                               | Colmenas de polinización         | Reciclable                                                     |

Otro filtro que hay que usar a la hora de evaluar el residuo es el nivel de calidad o de contaminación con el que se recoge. En el apartado más voluminoso que es el vegetal encontramos situaciones bien diferenciadas. La poda de la planta que se hace durante el crecimiento (destalle o deshojado) produce un material tierno y sin ningún tipo de contaminación que es distinto al del arranque del cultivo. En el primer caso además de mucha mayor calidad se da una frecuencia y una cantidad más o menos constante durante el ciclo. En el segundo caso, el residuo se genera de una vez en un tiempo de días.

En el capítulo de plásticos la inmensa mayoría es el plástico de cubierta que es polietileno y se retira una vez cada 3 o 4 años. Pero otros plásticos como la rafia de entutorado, los envases de abonos, los sacos o las bandejas se consumen a un ritmo anual. La composición química suele ser distinta a la del plástico de cubierta y suelen tener trazas de otros productos químicos.

### 3. Un marco teórico para reutilizar los subproductos

Los productos que entran a formar parte del ciclo del invernadero salen con otras propiedades y calidades que si bien los retrae de volver a su uso inicial no así de cualquier otro que pueda necesitar una calidad menos exigente. El estudio siguiente enmarca tanto el problema del producto como los nuevos usos posibles.

#### 3.1. Plásticos

##### 3.1.1. Rafia

La rafia es una cinta de polipropileno utilizada de forma universal para sustentar las plantas que crecen en altura y que no tienen resistencia natural para mantener la producción de frutos. La cualidad por la que se ha extendido su uso es la de la resistencia a la rotura.

Sin embargo, la radiación ultravioleta afecta de forma severa esta propiedad lo que limita la opción del reciclaje para producir un producto con el mismo fin. Ahora bien el polipropileno es un plástico con unas propiedades muy estudiadas como atrayentes de ciertos hidrocarburos o como refuerzo estructural de composites y en ese caso, el valor del producto es en el estado de microfibra lo que reduce el problema que genera la degradación de la rafia ya utilizada.

Entre las aplicaciones que han pasado a la fase de ensayos de laboratorio ya se puede mencionar el de la fabricación de aditivos para añadir al hormigón y mejorar algunas de sus propiedades, la fabricación de barreras de absorción y contención de derrames de crudo o la formulación de mezclas asfálticas en frío. En condiciones normales, esta solución para la pavimentación es una opción más barata pero de menos calidad que el proceso a alta temperatura. Sin embargo algunas pruebas en las que se añadía fibra de polipropileno a la mezcla en frío han mejorado las prestaciones de la mezcla asfáltica en frío.

El uso habitual de la rafia recuperada en cualquiera de las aplicaciones industriales tiene que pasar por disponer de un producto más limpio de lo que se dispone en la actualidad. Cuando el agricultor retira el cultivo arranca la mata enredada en la rafia generando un producto híbrido entre rafia y materia orgánica inútil tanto si el uso se orienta hacia la aplicación de la rafia como si se hace hacia el uso de la planta.

### 3.1.2. Macetas

Las macetas suelen estar fabricadas en polipropileno que tiene un discurso parecido al de la rafia salvo por el hecho de que no se presenta en cintas sino en láminas. La diferencia es importante porque la estructura en forma de cinta es muy compleja de procesar. Se suele enredar en todos los sistemas de corte o en los ejes y es habitual que termine parando maquinaria de lo más poderosa.

Las macetas son por el contrario una forma con que tiene una trituración fácil y que permite sacar granza de polipropileno tan fina como se quiera. Una vez lavada y desinfectada, la granza se reutiliza para fabricar escobas, macetas, soportes de bicicletas y multitud de productos plásticos.

### 3.1.3. Plástico de cubierta

En su totalidad, el plástico es polietileno con aditivos para reducir la degradación de la radiación ultravioleta y alargar la vida útil. El polietileno se retira del invernadero cada dos o tres años y lleva su composición original más las trazas de los componentes químicos que se hubiesen aplicado durante el cultivo y que se hayan depositado en la parte interior más los restos de la pintura blanca utilizada de forma general en verano como sistema de sombreado.

El lavado de estos plásticos no tiene ninguna dificultad y el producto resultante se pica hasta conseguir una granza de polietileno de similares características a la granza con la que se produce el material original.

La granza de polietileno reciclado se utiliza de forma generalizada en la producción de muchos de los plásticos de polietileno que no tienen un uso alimentario como contenedores, ruedas, vallados de jardinería o conglomerados.

### *3.2. Metales*

Terminada la vida útil de alrededor de quince años, la estructura del invernadero que es en su inmensa mayoría un perfil redondo o cuadrado de acero galvanizado en caliente, se recicla en su totalidad como chatarra y vuelve al ciclo de la producción del acero.

### *3.3. Incineración*

La mejor situación que podemos esperar es la de reintroducir el plástico o el producto orgánico en otro proceso que genere un producto de interés y evite el consumo de materias primas.

Pero aun en el contexto de ese modelo óptimo, una parte de esas fracciones no podrá procesarse y pasará a ser un residuo. Los plásticos usados en todos los envases y la rafia son derivados del petróleo y por tanto un combustible con muy buenas propiedades cuando se usa de forma aislada y mejora las condiciones de ciertas mezclas cuando se añade a otra materia orgánica más empobrecida.

En un caso u otro la incineración tiene la ventaja substancial de producir electricidad pero la contrapartida de ser un foco potencial de emisiones nocivas. Todos los productos plásticos de desecho tienen algún tipo de contaminación así que la incineración se tiene que plantear bajo las máximas medidas de control.

Afortunadamente tanto la incineración como la gasificación son procesos muy avanzados y se tiene que aceptar que es del todo posible realizar la separación y limpieza del producto de forma previa al igual que la del control del hogar y limpieza de los gases de escape con total garantía.

La lista de países que han adoptado la incineración como práctica habitual de gestión de los productos agrícolas incluye a la mayoría del llamado núcleo Europeo. Holanda, Francia o Alemania por ejemplo usan la incineración tanto para la gestión de los residuos sólidos urbanos como para los agrícolas.

## 4. El caso práctico de la fracción orgánica: producción de compost

### 4.1. Introducción al proceso de compostaje

La definición más aceptada de compostaje es la «descomposición biológica aeróbica de residuos orgánicos de distinta procedencia bajo condiciones controladas en un estado en el que se puede manejar, almacenar y aplicar con sencillez y seguridad al terreno sin afectar adversamente al medioambiente.

Se denomina descomposición y no estabilización porque no siempre se puede asegurar que la estabilización de la materia orgánica sea total. Se dice que la descomposición es de tipo biológico (microbiológico) para diferenciarla de las descomposiciones físicas y químicas. Se indica que es aeróbica porque permiten el acceso de oxígeno al material en descomposición.

Por todo lo anterior significa que el proceso:

- Es biooxidativo, por tanto biológico, lo que diferencia al compostaje de otros tratamientos de tipo físico o químico, desarrollándose una actividad eminentemente aeróbica.
- Es controlado, lo que indica la necesidad de una monitorización y control de parámetros durante el desarrollo del mismo, diferenciándolo de los procesos naturales no controlados. Parámetros tales como la temperatura, humedad y oxigenación.
- Tiene lugar sobre sustratos orgánicos en fase sólida, generalmente heterogéneos, que actúan como soporte físico y matriz de intercambio, fuente de nutrientes y agua necesarios para el metabolismo microbiano, aporta microorganismos endógenos, retiene los residuos metabólicos generados durante su desarrollo y actúa como aislante térmico del sistema.

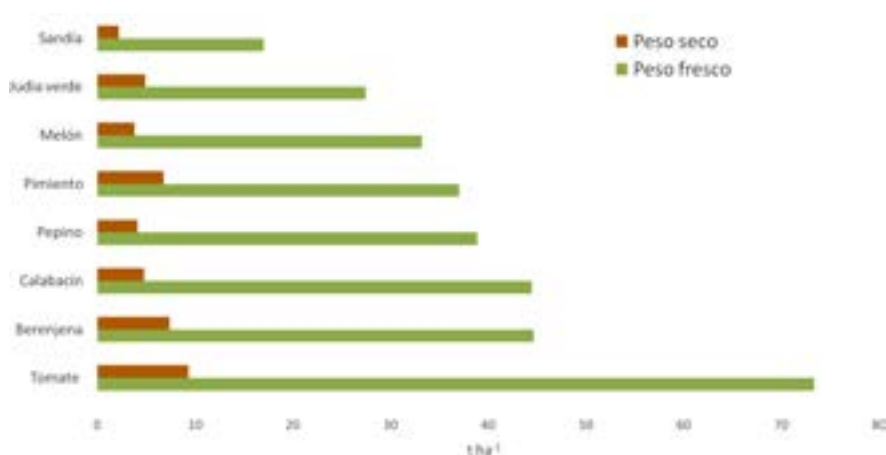
En principio cualquier material orgánico es susceptible de compostarse. Podemos tener restos de cultivos hortícolas, restos de poda tanto de frutales como de jardinería, subproductos de manipulación y de elaboración de cosechas e incluso podríamos considerar los residuos generados en industrias agrarias diversas como almazaras, bodegas, etc.

#### 4.2. Tipo de residuo de un cultivo, frecuencias, cantidades, calidades o problemas

La cantidad de resto vegetal que produce un invernadero está ligada al producto cultivado y a las rotaciones que se apliquen en la campaña.

De acuerdo a los datos del equipo de la Estación Experimental de Cajamar 'Las Palmerillas', la estrategia del agricultor medio es cortar la planta de raíz y dejarla secar algún tiempo de forma que la humedad inicial se reduzca a casi la mitad. Como se puede ver en el Gráfico 1, los extremos posibles entre la máxima humedad en el momento de la retirada del invernadero y el secado de la planta en estufa indican un margen muy importante en peso.

**Gráfico 1. Cantidad de residuos generados por hectáreas al final de un cultivo de ciclo largo. En toneladas por hectáreas**

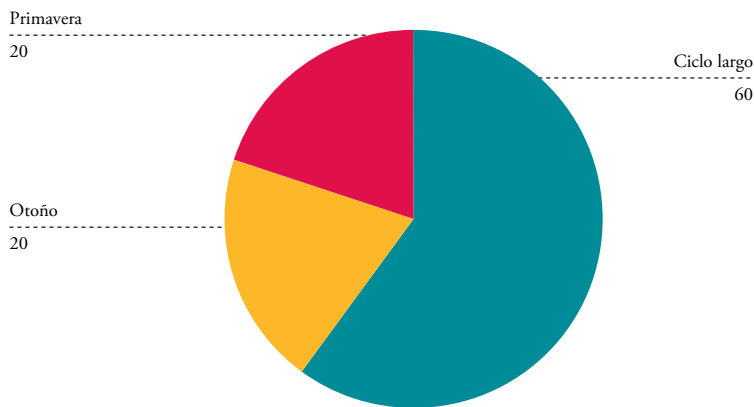


Fuente: Estación Experimental de Cajamar 'Las Palmerillas'.

El calendario para la generación de los residuos está ligado a los ciclos de producción de los diferentes cultivos. Los cultivos de tomate, pimiento y berenjena se consideran de ciclo largo, mientras que los de pepino, calabacín, judía verde, melón y sandía son cultivos de ciclo corto. En caso de cultivar especies de ciclo corto en invernadero es común la práctica de llevar a cabo rotaciones en la misma campaña, de estas son representativas la rotación pimiento-sandía, pimiento-melón, pepino sandía y pepino-melón (García, 1987).

El proceso de cultivo produce desechos durante todo el año en forma de destalles, deshojados o eliminación de frutos de destrío, con picos en enero-febrero y mayo-junio. El primer pico corresponde con el final de los cultivos de otoño (judía, calabacín y pepino principalmente) y supone un 19 % de los residuos vegetales. En mayo-junio coincide con la finalización de los cultivos de primavera (melón y sandía, principalmente) y los cultivos de ciclo largo o únicos como el tomate, pimiento y berenjena, representando el 81 % de los residuos (61 % de los cultivos de ciclo largo y 20 % de los de primavera respectivamente).

**Gráfico 2. Distribución estimada de los residuos vegetales generados en la provincia de Almería en base al tipo de ciclo de cultivo. En porcentaje**



Fuente: Estación Experimental de Cajamar 'Las Palmerillas'.

#### *4.3. Soluciones para realizar el compostaje*

El compostaje en contenedor es aquel sistema en el que en la materia orgánica que se desea compostar se introduce en un contenedor, silo o recipiente similar capaz de homogeneizar las condiciones necesarias de humedad, aireación y mezcla de los componentes.

En los sistemas confinados, el proceso de compostaje se puede mantener controlado, se mantienen las condiciones aeróbicas en valores óptimos, se gestiona mejor la temperatura de la pila, se recuperan los lixiviados, se regula la humedad y en último extremos se puede canalizar los gases que se emiten

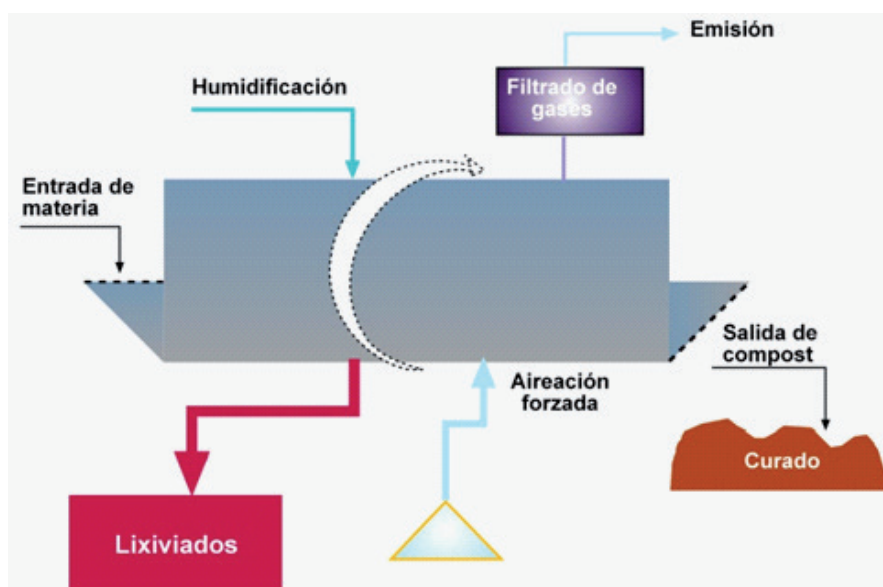
eliminando aquellos que generan malos olores y en su caso, confinando el  $\text{CO}_2$  para evitar su dispersión a la atmósfera.

Normalmente, estos sistemas se asocian al uso de unos cilindros rotatorios diseñados para que el material entre por una de las bocas y vaya avanzando hacia la de la salida a un ritmo tal que se sea justo el que necesita la fase termófila para desarrollar la primera etapa del compostaje.

En su avance a través del cilindro, el material va rotando lo que hace que se oxigene y se mezcle. Al estar confinado la humedad no se pierde y se puede garantizar que todo el volumen a compostar se mantiene en idénticas condiciones. Como el cilindro puede estar aislado térmicamente o ubicado en el interior de un edificio, el clima exterior no le afecta de forma directa y el proceso de compostaje se acelera hasta el máximo que permite la biología del sistema. Adicionalmente, el producto sale mucho mas mezclado y con ello mas homogeneizado que el conseguido de forma tradicional y se puede plantear la gestión de un volumen enorme de forma continuada y produciendo compost en tiempos conocidos y con calidades bien controladas.

Las ventajas de este proceso hay que compensarlas con su penalización económica. Es un proceso que necesita un capital inicial relevante, que consume energía y con un coste de operación y mantenimiento a considerar.

**Figura 2. Funcionamiento esquemático de un sistema de compost rotatorio**



Los sistemas de compostaje confinados se van abriendo camino sobre todo cuando el problema que se quiere gestionar es muy complejo y de mucho volumen. Existen sistemas diseñados para gestionar todo el residuo sólido de toda una ciudad (Edmonton, Canadá), o de hospitales y centros sociales por poner ejemplos de entornos en los que la eficacia tiene que estar por encima de otras consideraciones.

Pero la historia del compostaje se ha hecho a base de la gestión de pilas al aire libre con unos requisitos tecnológicos más que moderados. Una vez troceado o preparado el material a compostar, el sistema no hace otra cosa que apilar el material en una forma de toblorone de unos dos metros en la base por uno o dos metros de altura.

Con esta geometría se puede usar maquinaria tipo tractores que pasan por encima de las pilas y las pueden voltear para airearlas o regar para mantener la humedad. Una vez se forma la pila, el gestor tiene que tener en cuenta que habrá que mantenerla por un periodo de entre cuatro y ocho meses por lo que la simplicidad de este sistema se compensa con la necesidad de terreno. No solo las pilas ocupan terreno sino que si se tienen que voltear el material pasa de un sitio a otro y la maquinaria que tiene que circular necesita de una red de accesos nada despreciables.

El control de la humedad necesario se puede hacer solo a base de regar la pila en el caso de que se quede seca, pero si en un momento dado se presenta una lluvia que paraliza el proceso de compostaje, el modelo al aire libre no tiene forma de controlarlo. La falta de control sobre la humedad y sobre el oxígeno hace que el proceso sea más lento y que se consiga menos homogeneidad. En una pila, los productos se van descomponiendo poco a poco pero difícilmente se van mezclando entre ellos y mientras el interior de la pila consigue mantener unas condiciones óptimas, los bordes no. Al no poder mezclar el material, el proceso del compostaje no se realiza por igual en todo el volumen de la pila.

Estas incertidumbres han formado parte de la discusión sobre el compostaje y en ese marco el compostaje se ha desarrollado a lo largo de las pasadas tres o cuatro décadas y ha conseguido alcanzar los niveles de calidad exigidos tanto por los usuarios de abono orgánico como por las autoridades que deben velar por que los productos cumplan con normas de calidad e higiene.

#### 4.4. Ejemplos

Existen muchísimos ejemplos de compostaje a pequeña escala y otros muchos de plantas de compostaje a gran escala. La mayoría se alimentan de una mezcla de residuo sólido urbano, de restos de granjas o de la fracción doméstica. Instalaciones que se dediquen a gestionar el residuo de la agricultura intensiva de los invernaderos son menos frecuentes, pero hay agricultores que compostan su propio residuo a la vez que plantas que centralizan la labor de toda una zona.

- a) Ejemplo de compostera rotativa. El ejemplo que presentamos es el desarrollado por la Estación Experimental de Cajamar 'Las Palmerillas' y lo hacemos tanto por la cercanía como porque está diseñado para acometer la gestión de los residuos que se pueden producir en una explotación de entre una y dos hectáreas.

El modelo de compostera rotativa utiliza un cilindro de 3 m de longitud y 1 m de diámetro con una carga inicial de unos 200 kg. El cilindro tiene unas palas en el interior y un motor accionado por energía solar que lo hace girar a una velocidad de 1rpm.

La compostera se carga hasta su límite de capacidad, se equilibra la relación carbono/nitrógeno añadiendo serrín y se añade un poco de agua en una cantidad que fija el estado de la materia en su inicio. Productos como el tomate suelen estar más verdes y húmedos que el pimiento o la berenjena que son más leñosos y dan un aspecto mas seco a la masa.

Una vez arranca el proceso de compostaje, la masa se pone a entre 60 y 70 °C y disminuye el volumen de forma que para garantizar que no se pare el proceso se añade más materia una vez por semana durante las dos o tres semanas siguientes a haber comenzado la fase termófila.

El motor se pone en marcha durante las horas centrales del día durante las primeras etapas y una vez el compost ya se ha enfriado, se para y se usa para voltear la masa una vez o dos a la semana.

Al cabo de cuatro o seis semanas del comienzo, la pila baja su temperatura a unos 40 °C y entonces la masa se saca de la compostera y se apila. El ciclo de la compostera comienza de nuevo y a lo largo de una campaña se repite el proceso de entre tres a seis veces apilando

en el mismo sitio todas las extracciones de la compostera y dejando que el material madure.

La ventaja de este equipo frente a la pila es la de poder hacer compost con relativamente poca cantidad de producto lo que lo habilita para fincas pequeñas o para gestionar el compost durante la época del destalle o el aclareo cuando una explotación produce de forma continua pero en poca cantidad.

**Figura 3. Compostera rotativa diseñada por la Estación Experimental de Cajamar ‘Las Palmerillas’**



- b) Ejemplo de compostaje en pila. El compostaje de una finca grande incluyendo la fracción de retirada del cultivo a final de campaña se ha hecho por primera vez en el año 2010 en pila estática. La razón más evidente es que en cuestión de semanas, una finca produce muchas decenas de toneladas de materia orgánica con una vida útil para poder hacer un buen compost de no más de dos semanas lo que induce a usar una pila estática porque es un sistema rápido que puede gestionar de forma económica mucho volumen.

Para garantizar la calidad y rapidez del compost, procedemos a triturar la masa vegetal con un rotovator acoplado a un tractor. En ese proceso el volumen disminuye en cerca de un 70 % lo que permite preparar pilas de alrededor de 2 x 3 m con una altura inicial de 1,5 m. Al igual que en el caso de la compostera rotativa, la pila se

equilibra con serrín, restos de papel o de hojas para fijar la cantidad apropiada de carbono y se riega.

A diferencia del sistema en la compostera, la pila pierde humedad de forma más rápida y hay que mantener la humedad con riegos muy habituales durante la fase termófila. En nuestro caso, las pilas de compost están en un cobertizo que tiene un sistema de riego por aspersión automatizado que en verano se activa casi a diario.

A diferencia de la experiencia con la compostera rotativa, la gestión en pilas ha permitido tratar todo el residuo producido por las más de 4 ha de cultivo que dispone la Estación Experimental, de forma que se empezó a recoger material en el mes de mayo y se concluyó en junio con la retirada de los últimos cultivos.

**Figura 4. Progreso del compostaje en pila realizado en verano de 2011**



#### *4.5. Formas de medir la calidad y lo apropiado del producto*

Los requerimientos de calidad del compost están dirigidos a conseguir: aspecto y olor aceptables; higienización correcta; impurezas y contaminantes a nivel de trazas; nivel conocido de componentes agrónomicamente útiles y características homogéneas y uniformes que permitan el almacenamiento sin experimentar alteraciones posteriores. Los organismos reguladores no tienen tanta sintonía como lo puedan tener los que regulan el tráfico y no hay una sola definición universal más allá de los aspectos relacionados con la garantía de salubridad.

En general las medidas se agrupan en tres tipos de parámetros, que se pueden observar en la Tabla 2.

**Tabla 2. Características básicas de un buen compost**

| Parámetro                             | Valor ideal           | Comentario                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|---------------------------------------|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Físicos                               |                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Distribución del tamaño de partículas | Pasa el tamiz 8 mm    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Densidad aparente (kg/m³)             | 600                   | Puede oscilar un 25 % según sea el producto inicial o el estado de madurez.                                                                                                                                                                                                                                    |
| Material inerte                       | < 8                   | Puede incluir hasta: <ul style="list-style-type: none"><li>• 5 % de piedra/arena.</li><li>• 3 % de plástico y metales.</li></ul>                                                                                                                                                                               |
| Humedad (%)                           | 40 - 50               | Siempre mayor al 30 %, incluso en compost muy maduros.                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Químicos                              |                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| pH                                    | 6,8 - 8               | Condicionado por el material de origen. Suele ser básico si se trata de hojas y más ácido si lo mezclamos con estiércol.                                                                                                                                                                                       |
| Conductividad eléctrica (mS/m)        | 3,5 - 6,4             | Indica la cantidad de sales solubles. Entre las que se encuentran cloruros y sulfatos que son perjudiciales para las plantas. El límite óptimo lo fijará el uso al que se destine. Plantas delicadas o de semilleros no aceptan valores superiores a 2,5 mientras que muchas otras prosperan con valores de 6. |
| C/N (%)                               | 10 - 14               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Materia orgánica (%)                  | 35 - 70               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| A. Húmicos (%)                        |                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| N (total) (%)                         | 1 - 2,5               | Es la suma del nitrógeno inorgánico en forma de nitratos y del orgánico incrustado en los organismos presentes. No todo es directamente asimilable por las plantas                                                                                                                                             |
| P (P2O5) (%)                          | 1,5 - 2               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| K (%)                                 | 1,5                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Ca (%)                                | 2,0                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Mg (%)                                | 1 - 1,3               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Metales pesados                       | (mg/kg de suelo)      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Arsénico                              | 41                    | Muchas plantas pueden ser tolerantes a los metales pesados, por lo tanto, los límites se establecen tanto para evitar los problemas en la planta como para evitar su transmisión a la cadena alimentaria. Estos valores pueden reducirse si el material de origen es rico en alguno de estos elementos.        |
| Cadmio                                | 2                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Cobre                                 | 300                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Níquel                                | 90                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Plomo                                 | 150                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Zinc                                  | 500                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Mercurio                              | 1,5                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Selenio                               | 100                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Cromo (total)                         | 250                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Biológicos                            | (UFC/g)               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Bacterias totales                     | 133 x 10 <sup>7</sup> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Actinomicetos                         | 41 x 10 <sup>4</sup>  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Hongos                                | 48 x 10 <sup>3</sup>  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Nematodos                             | Ausentes              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Índice de madurez (%)                 | > 95 germinación      | De los distintos sistemas de medida mencionamos la germinación de semillas (rábano o césped)                                                                                                                                                                                                                   |

## Referencias bibliográficas

- ALLEN, E. R. y MING D.W. (1995): «Recent progress in the use of natural zeolites in agronomy and horticulture»; en MING, D. W. y MUMPTON, F. A., eds.: *Natural Zeolites'93 Occurrence, Properties, Use*. Int'l Comm Natural Zeolites, Brockport, Nueva York; pp. 477-490.
- BARBARICK, K. A. y PIRELA, H. J. (1984): «Agronomic and horticultural uses of zeolites: A review»; en POND W. G. y MUMPTON, F. A., eds.: *Zeo-Agriculture: Use of Natural Zeolites in Agriculture and Aquaculture*. Westview Press, Boulder; pp. 93-103.
- BREMMER, J. M. y MULVANEY, C. S. (1982): «Nitrogen total»; en Page, A. L. et al., eds.: *Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical and Microbiological Properties*. American Society of Agronomy, Inc Madison; pp. 595-624.
- BROWN, K. H.; BOUWKAMP, J. C. y GOUIN, F. R. (1998): «The influence of C:P ratio on the biological degradation of municipal solid waste»; *Compost Science and Utilization* 6(1); pp. 53-58.
- BOE 131/1998. 12731. *Orden de 28 de mayo de 1998 sobre fertilizantes y afines*. pp. 18028-18078.
- SULLIVAN, D. M. y MILLAR, R. O. (2005): «Propiedades cualitativas, medición y variabilidad de los compost»; en *Utilización de Compost en los Sistemas de Cultivo Hortícola*. Ed. Mundi-Prensa. pp. 95- 119.
- DICKSON, N.; RICHARD, T. L. y KOZLOWSKI, R. E. (1991): «Composting to Reduce the Waste Stream: A Guide to Small Scale Food and Yard Waste Composting»; *Natural Resource, Agriculture, and Engineering Service (NRAES)*. Ithaca, New York.
- FEDERACIÓN AGROALIMENTARIA DE CCOO (2000): *Formación para valoración de residuos agrícolas*; p. 75.
- MADRID, F.; LOPEZ, R.; CABRERA, F. y MURILLO, J. M. (2001): «Caracterización de los compost de residuos sólidos urbanos de la planta de Villarrasa (Huelva)»; *Invest. Agr.: Prod. Prot. Veg.* 16(1); p. 105-117.
- GOLUEKE, C. G. (1977): *Biological Reclamation of Solid Wstes*. Rodale Press, Emmaus, Pennsylvania; p. 9.
- HAMODA, M. F.; ABU QDAIS, H. A. y NEWHAM, J. (1998): «Evaluation of municipal solid waste composting Kinetics»; *Resources, Conservation and Recycling* (23); pp. 209-223.

- INBAR, Y.; CHEN Y. y HOITINK, H. A. J. (1993): «Properties for establishing standards for utilization of compost in container media»; en HOITINK, H. A. J. y KEENER, H. M., eds.: *Science and Engineering of Composting: Design, Microbiological and Utilization Aspects*. Wothington, Ohio, Renaissance Publications; p. 668-694.
- KAYHANIAN, M. y TCHOBANOGLOUS, G. (1993): «Characteristics of humus produced from the anaerobio composting of the biodegradable organic fraction of municipal solid waste»; *Environmental Technology* (14); pp. 815-829.
- LEGGO, P. J. (2000): «An investigation of plant growth in an organo-zeolitic substrate and its ecological significance»; *Plant and Soil* (219); pp. 135-146.
- MATHUR, S. P. (1991): «Composting processes»; en Martin, A. M., ed.: *Bio-conversion of waste materials to industrial products*. New York, Elsevier Applied Science; p. 147-183.
- MCGAUGHEY, P. H. y GOTASS, H. B. (1973): «Stabilisation of municipal refuse by composting»; *American Society of Civil Engineers Transactions. Proceedings-Separate* 302(2767); p. 897-920.
- MINATO, H. (1968): «Characteristics and uses of natural zeolites»; *Koatsugasu* (5); pp. 536-547.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN DE ESPAÑA (1986): *Métodos Oficiales de Análisis* (III). Madrid.
- MORISAKI, N.; PHAE, C. G.; NAKASAKI, K.; SHODA, M. y KUBOTA, H. (1989): «Nitrogen transformation during thermophilic composting»; *Journal of Fermentation and Bioengineering* (1); pp. 57-61.
- PÉREZ-PARRA, J. J. y CÉSPEDES LÓPEZ, A. J. (2001): «Análisis de la demanda de inputs para la producción en le sector de cultivos protegidos de Almería»; *Estudio de la demanda de inputs auxiliares: producción y manipulación en el sistema productivo agrícola almeriense*. Almería, Fundación para la Investigación Agraria de la Provincia de Almería (FIAPA); p. 1-102.
- RICHARD, T. L. (1992): «Municipal solid waste composting: physical and biological processing»; *Biomass and Bioenergy* 3(3-4); pp. 163-180.

- U. S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (U. S. EPA). (1992): «Sampling procedures and analytical methods»; *Environmental Regulations and Technology. Control of Pathogens and vector Attraction in Sewage Sludge*. EPA/626/R-95/013. Washington, D. C., USEPA, Office of Research and Development, ; p. 41-47.
- FINSTEIN, M. S. y HOGAN, J. A. (1993): «Integration of composting process microbiology, facility structure and decision-making»; en HARRY, A. J. HOITINKND HAROLD, M. K., eds.: *Cience and Engineering of Composting: design, environmental, microbiological and utilization aspects*. Ohio, Renaissance Publications; p. 1-23.
- KEENER, H. M.; MARUGG, C.; HANSEN, R. C. y HOITINK, H. A. J. (1993): «Optimizing the efficiency of the composting process»; en Harry, H. A. J. y Harold, M. K., eds.: *Science and Engineering of Composting: design, environmental, microbiological and utilization aspects*. Ohio, Renaissance Publications.



# Optimización de la aplicación de fitosanitarios en invernadero

*Julián Sánchez-Hermosilla<sup>(a)</sup>, Víctor J. Rincón<sup>(a)</sup>,*

*Francisco Páez<sup>(b)</sup> y Milagros Fernández<sup>(b)</sup>*

<sup>a</sup>Universidad de Almería, Campus de Excelencia Internacional Agroalimentario-CeiA3

<sup>e</sup> IFAPA-La Mojonera, Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera

## 1. Introducción

La superficie dedicada al cultivo de hortalizas en invernadero ha experimentado un importante crecimiento en los últimos años, situándose en torno a las 29.990 ha (Cabrera y Uclés, 2012). Esto ha permitido que la provincia de Almería sea una de las zonas con mayor producción de hortalizas de Europa, alcanzando 2.973.614 t en la campaña 2011/2012 (Cabrera y Uclés, 2012).

El sistema productivo bajo invernadero que se practica en el sudeste español, se caracteriza por una alta densidad de plantación y un ambiente con altas temperaturas y humedad relativa. Estas condiciones provocan una alta incidencia de plagas y enfermedades, que en la mayor parte de las ocasiones se controlan mediante el empleo de productos químicos.

Actualmente la industria agroalimentaria, y más concretamente el sector hortofrutícola, busca la producción de alimentos de calidad, mediante procedimientos seguros y sostenibles. Esto ha dado lugar al desarrollo y empleo de métodos menos agresivos, donde destaca el control integrado de plagas. A pesar de ello, el empleo de fitosanitarios sigue siendo una de las alternativas más utilizada para satisfacer las demandas del mercado alimentario, por lo que se exige un uso racional de los mismos, empleando sustancias de baja peligrosidad y aplicándolas eficientemente. En esta línea se encuentran la Directiva europea de uso sostenible de fitosanitarios (2009/128/CE), la Directiva de Máquinas (2009/127/CE) y el Reglamento relativo a la Comercialización de Productos Fitosanitarios (2009/1107/CE).

Que un tratamiento sea *eficaz* no quiere decir necesariamente que sea *eficiente*, para poder considerarlo eficiente debe de optimizarse la aplicación,

entendiendo por tal, aquella que se realiza con un equipo correctamente calibrado, proporcionando deposiciones cercanas al umbral de control de la plaga o enfermedad, uniformemente distribuidas en la masa vegetal, minimizando las pérdidas, aplicando el menor volumen posible y garantizando la seguridad para el aplicador y para el medioambiente. Hay una serie de factores que determinan la eficiencia de una aplicación fitosanitaria, entre las que destacan: el equipo de aplicación, el tipo de boquillas empleadas, el volumen de aplicación y la presión de trabajo. La influencia de algunas de las variables indicadas anteriormente se han analizado, para aplicaciones fitosanitarias en invernadero, dentro de los proyectos *Racionalización de las aplicaciones fitosanitarias en los cultivos hortícolas bajo invernadero mediante una plataforma móvil autónoma* (AGL2005-00848/AGR), del Plan Nacional de Investigación, *Análisis y evaluación de las técnicas de aplicación de productos fitosanitarios en invernaderos. Reducción del impacto ambiental y optimización técnico-económica*. (P07-AGR-02995) y *Estudio y evaluación de las técnicas de aplicación de productos fitosanitarios en pimiento bajo invernadero. Propuesta de un modelo de dosificación* (P12-AGR-773), financiado por la Junta de Andalucía (Proyectos de Excelencia). Algunos de los resultados obtenidos se exponen a continuación.

## 2. Influencia del equipo de aplicación

Las aplicaciones de fitosanitarios en invernaderos se realizan fundamentalmente, mediante sistemas manuales, como son las *pistolas y lanzas pulverizadoras* (Figura 1). Estos equipos están presentes en un 91,7 % de los invernaderos del sudeste español (Céspedes *et al.*, 2009). Normalmente con estos equipos las aplicaciones se realizan a elevadas presiones (> 20 bar), distribuyendo elevados volúmenes hasta llegar al punto de goteo. Se caracterizan por su bajo coste, fácil mantenimiento y son adecuados para el control de problemas fitosanitarios de carácter puntual. Pero los tratamientos llevados a cabo con estos equipos presentan una baja eficacia, debido a la baja deposición y la falta de uniformidad de la distribución del fitosanitario en la vegetación, elevadas pérdidas en el suelo (Sánchez-Hermosilla *et al.*, 2011 y 2012) y elevado riesgo de exposición de los aplicadores (Nuyttens *et al.*, 2009).

Existen otros equipos de aplicación que se utilizan en invernaderos en menor medida, como son el cañón atomizador y equipos dotados de barras pulverizadoras verticales. El *cañón atomizador* (Figura 2) es un equipo más evolucionado técnicamente que las pistolas o lanzas pulverizadoras. Las prin-

cipales ventajas que presenta son el ahorro de tiempo a la hora de realizar los tratamientos y la menor exposición del aplicador. Pero estos equipos son menos eficaces que las pistolas cuando se trabaja en cultivos tutorados con alta densidad de vegetación, puesto que se produce una baja uniformidad de la distribución del fitosanitario aplicado dentro de la línea de cultivo, además se emplean volúmenes de aplicación mayores y se producen importantes pérdidas al suelo (Garzón *et al.*, 2000).

Los equipos dotados de barras verticales se caracterizan por disponer de dos barras verticales de pulverización con varias boquillas cada una de ellas. Generalmente trabajan a presiones de aproximadamente 10 bar y emplean boquillas de abanico. La separación entre boquillas debe ajustarse en función de la distancia de trabajo al cultivo y del tipo de boquilla empleado, siendo recomendable emplear una separación de 50 cm para boquillas con un abanico de  $110^\circ$  (Sánchez-Hermosilla *et al.*, 2003). Se pueden encontrar distintos equipos dotados de barras verticales, desde carretillas manuales (Figura 3) hasta opciones más avanzadas entre las que se encuentran equipos autopropulsados diseñados específicamente para la aplicación de productos fitosanitarios en invernaderos (Tizona®, Figura 4). Con estos últimos es más fácil controlar variables operacionales como presión de trabajo y velocidad de desplazamiento, proporcionando pulverizaciones mas uniformes. También existe un equipo autónomo (Fitorrobot®, Figura 5) que realiza tratamientos sin la necesidad de que el operario esté presente, eliminando, de esta forma, los riesgos de exposición.

**Figura 1. Aplicador con pistola pulverizadora**



**Figura 2. Cañón atomizador**



**Figura 3. Carretilla pulverizadora manual**



**Figura 4. Equipo de barras verticales (Tizona®)**



**Figura 5. Fitorobot®**



Otra alternativa para la aplicación de fitosanitarios en invernadero, es la utilización de sistemas de nebulización (Figura 6). La principal finalidad de este tipo de equipos es el control climático en el interior del invernadero. Están constituidos por dos redes de tuberías, por una de ellas circula el caldo fitosanitario a baja presión (2-3 bar) procedente de un depósito y por la otra el aire a presión (6 -7 bar) procedente de un compresor de aire. A lo largo de la red de tuberías se distribuyen de forma uniforme las boquillas. En las mismas se produce el choque de la vena líquida con la corriente de aire, generando la división en gotas finas. La posibilidad de automatizar la aplicación de fitosanitarios con estos sistemas es la principal ventaja de los mismos, puesto que se pueden llevar a cabo en el momento más oportuno sin que sea necesaria la presencia del operario en el interior del invernadero. Como inconveniente estos sistemas dan lugar a una distribución de producto fitosanitario poco uniforme (Rincón *et al.*, 2010), con grandes dificultades para conseguir depósitos adecuados tanto en el envés de las hojas como en la parte interna del cultivo.

**Figura 6. Sistema de nebulización aire-agua. Detalle de la boquilla de pulverización (a) e interior del invernadero durante un tratamiento (b)**



### 3. Influencia del tipo de boquilla

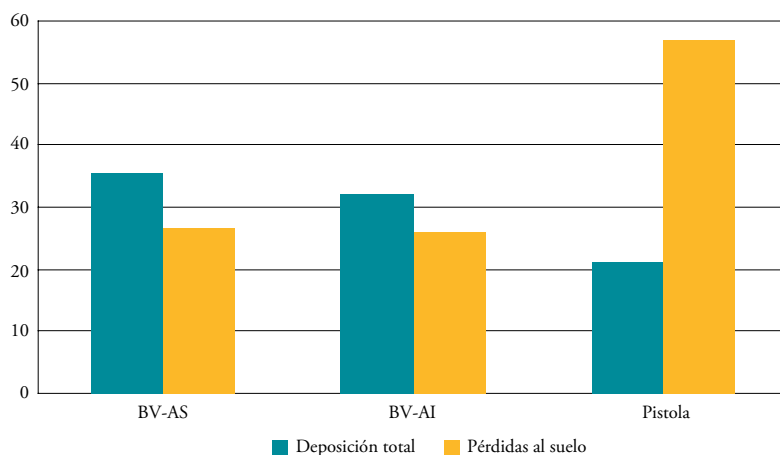
Se han hecho estudios con las carretillas manuales para evaluar la influencia del tipo de boquilla (Sánchez-Hermosilla *et al.*, 2012), analizando la deposición sobre el cultivo y las pérdidas al suelo, comparándolas con las que se producen con una pistola pulverizadora. En la Tabla 1 se indican las condiciones de trabajo de los equipos en los ensayos realizados.

**Tabla 1. Condiciones de trabajo en los ensayos. Influencia del tipo de boquilla**

| Equipo de aplicación                        | Pistola       |                  | Carretilla       |
|---------------------------------------------|---------------|------------------|------------------|
| Tipo de boquillas                           | Abanico doble | Teejet XR 110 02 | Albuz AVI 110 02 |
| Núm. de boquillas                           | 2             | 4                | 4                |
| Presión (bar)                               | 22,0          | 11,9             | 11,8             |
| Volumen de aplicación (l ha <sup>-1</sup> ) | 1.564         | 1.593            | 1.630            |

Entre los dos tipos de boquillas evaluados, abanico estándar y abanico de inducción de aire, no se encontraron diferencias significativas en la deposición en cultivo y las pérdidas en el suelo. No obstante, la deposición resultó ligeramente superior con las boquillas de abanico estándar. En ambos casos los resultados obtenidos son mejores que los que proporciona la pistola pulverizadora, depositando sobre el cultivo hasta un 40 % más del producto aplicado y reduciendo las pérdidas al suelo un 54 % (Gráfico 1). Además hay que tener en cuenta que, la carretilla pulverizadora trabaja a una presión un 45 % inferior a la empleada con la pistola pulverizadora.

**Gráfico 1. Deposición total sobre el cultivo y pérdidas al suelo con la barra vertical equipada con boquilla de abanico estándar (BV-AS), boquillas de inducción (BV-AI) y la pistola. En  $\mu\text{g cm}^{-2}$**



#### 4. Influencia del volumen de aplicación

Se han realizado estudios para determinar la influencia del volumen de aplicación comparando carretillas manuales con pistolas pulverizadoras (Sánchez-Hermosilla *et al.*, 2011). Para ello se aplicó un volumen de referencia con la pistola pulverizadora (P 1600) y un volumen inferior con el mismo equipo (P 900), y se comparó con las aplicaciones realizadas con una carretilla equipada con boquillas de abanico estándar a tres volúmenes diferentes (1.000, 750 y 500 l ha<sup>-1</sup>) (Tabla 2).

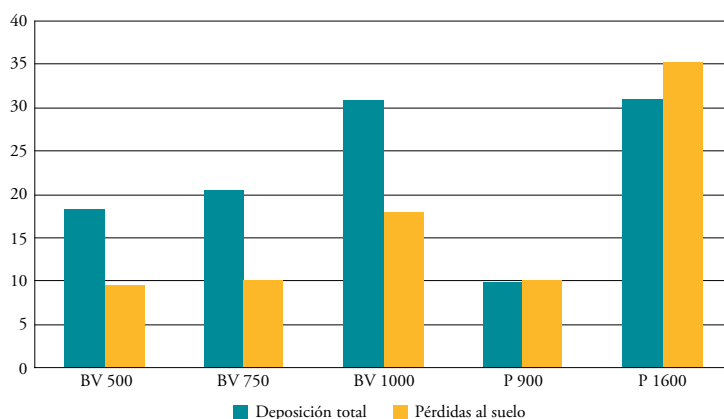
**Tabla 2. Condiciones de trabajo en los ensayos. Influencia del volumen de aplicación**

| Equipo de aplicación                             | Pistola                    |        | Carretilla            |        |          |
|--------------------------------------------------|----------------------------|--------|-----------------------|--------|----------|
| Tipo de boquillas                                | Abanico doble <sup>*</sup> |        | Abanico <sup>**</sup> |        |          |
| Núm. de boquillas                                | 2                          |        | 4                     |        |          |
| Presión media (bar)                              | 15                         |        | 8                     |        |          |
| Volumen de aplicación real (l ha <sup>-1</sup> ) | 865                        | 1666   | 524                   | 767    | 1.048    |
| Código ensayo                                    | P 900                      | P 1600 | BV 500                | BV 750 | BV 1.000 |

\* Abanico doble NOVI. \*\* Albuz API 110015

En el Gráfico 2 se observa que entre los tratamientos realizados con pistola se produjeron diferencias importantes. El ensayo a menor volumen (P 900) ofreció unos resultados pobres, ya que la reducción del 48 % en el volumen aplicado supuso una disminución del 68 % en la deposición respecto a la aplicación de referencia (p 1600). Estos resultados ponen de manifiesto que las aplicaciones con pistola deben realizarse a volúmenes elevados. Sin embargo, los resultados obtenidos con las barras verticales, muestran que se obtienen deposiciones similares a las obtenidas en la aplicación de referencia (P 1600), utilizando un 40 % menos de volumen (BV 1000) además las aplicaciones son más uniformes y con menos pérdidas al suelo. Los ensayos con barras verticales realizados a volúmenes más bajos (BV 500 y BV 750), proporcionaron unas deposiciones más bajas que las obtenidas en la aplicación de referencia (P 1600).

**Gráfico 2. Deposición total y pérdidas al suelo con barra vertical (BV) a tres volúmenes distintos (500, 750 y 1.000 l/ha) y con la pistola (P) a dos volúmenes distintos (900 y 1.600 l/ha). En  $\mu\text{g cm}^{-2}$**



## Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por Bayer CropScience SL y la Junta de Andalucía dentro en los proyectos de excelencia P07-AGR-02995 y P12-AGR-773.

## Referencias bibliográficas

- CABRERA, A. M. y UCLÉS, D. (2012): «Análisis de la campaña hortofrutícola de Almería. Campaña 2011/2012»; *Informes y monografías* (42). Almería, Fundación Cajamar.
- CÉSPEDES, A. J.; GARCÍA, M. C.; PÉREZ, J. J. y CUADRADO, I. M. (2009): *Caracterización de la explotación hortícola protegida Almeriense*. Fundación para la Investigación Agraria en la Provincia de Almería.
- GARZÓN, E.; LÓPEZ, L.; SÁNCHEZ-HERMOSILLA, J.; BARRANCO, P.; AGÜERA, L. y CABELLO, T. (2000a): «Eficacia técnica de la aplicación de fitosanitarios con cañón atomizador»; *Vida Rural* (112); pp. 44-48.
- NUYTTENS, D.; BRAECKMAN, P.; WIDNEY, S. y SONCK, B. (2009): «Potential dermal exposure affected by greenhouses spray application technique»; *Pest Management Science* (65); pp. 781-790.
- RINCÓN, V. J.; PÁEZ, F.; SÁNCHEZ-HERMOSILLA, J.; FERNÁNDEZ, M.; CARREÑO, A. y PÉREZ, J. (2010): «Characterization of a fog system used for pesticide application in greenhouse crops»; *Internacional Conference on Agricultural Engineering. AgEng 2010*. Clermont Ferrand, Francia.
- SÁNCHEZ-HERMOSILLA, J.; MEDINA, R. y GÁZQUEZ, J. C. (2003): «Improvements in pesticide application and greenhouses»; *Workshop on Spray Application Techniques in Fruit Growing*. Italia, Universidad de Turín; pp. 54-61.
- SÁNCHEZ-HERMOSILLA, J.; RINCÓN, V. J.; PÁEZ, F.; AGÜERA, F. y CARVAJAL, F. (2011): «Field evaluation of a self-propelled sprayer and effects of the application rate on spray deposition and losses to the ground in greenhouse tomato crops»; *Pest Management Science* 67(8); pp. 942-947.
- SÁNCHEZ-HERMOSILLA, J.; RINCÓN, V. J.; PÁEZ, F. y FERNÁNDEZ, M. (2012): «Comparative spray deposits by manually pulled trolley sprayer and a spray gun in greenhouse tomato crops»; *Crop Protection* 31(1); pp 119-124.



# El manejo de la resistencia a fitosanitarios

*Pablo Bielza Lino*

Universidad Politécnica de Cartagena

## 1. Introducción

En este capítulo intentaremos transmitir una visión global del fenómeno de la resistencia a los insecticidas, desde cómo se produce (los mecanismos) hasta cómo evitarlo (las estrategias). Esta visión global nos ayudará a entender los casos de resistencia en cada plaga, ya que la resistencia a insecticidas es un fenómeno común.

El objetivo del uso sostenible de los plaguicidas es que se reduzcan los riesgos y los efectos en la salud humana y el medioambiente, lo que se consigue mediante la utilización de la gestión integrada de plagas (GIP). Esta se orienta claramente a la obtención de cultivos sanos con bajo impacto en los agroecosistemas y en el impulso de los métodos biológicos de control de plagas. En los principios generales de la gestión integrada de plagas se establece que se deberán utilizar los productos fitosanitarios de manera que no incrementen el riesgo de desarrollo de resistencias en las poblaciones de organismos nocivos, con el fin de mantener la eficacia de los productos.

De esta forma, dentro de la gestión integrada de plagas, el uso sostenible de los productos fitosanitarios también debe considerarse como un uso fiable, consistente y duradero en el tiempo. Para ello deberemos conocer en profundidad y de manera científica el fenómeno de la resistencia a los insecticidas. Solo de esta forma se podrán establecer las estrategias de manejo de la resistencia que nos permitan conseguir una gestión integrada de plagas eficaz.

## 2. Concepto de resistencia a plaguicidas

La resistencia se da cuando una población de una plaga ha adquirido genéticamente la capacidad de tolerar una dosis del insecticida que resultaría letal para la población original del insecto.

La resistencia no hay que confundirla con la falta de eficacia de un tratamiento, que si bien puede ser por un problema de resistencia, no siempre es así, ya que puede ser un problema de una mala aplicación, un momento inadecuado de tratamiento, un producto mal elegido, etc.

La resistencia es un fenómeno biológico cuantitativo, es decir, existe una gradación. El grado de resistencia puede variar desde tolerar simplemente una mayor dosis hasta la práctica insensibilización al producto. La manera de medir el grado de resistencia adquirida es comparar la sensibilidad de la población en estudio (supuestamente resistente) con la sensibilidad de una población susceptible de referencia.

Para ello utilizaremos la concentración o dosis letal 50 ( $CL_{50}$ ), que es la concentración o dosis del insecticida que mata al 50 % de la población. Se usa la  $CL_{50}$ , y no por ejemplo la  $CL_{90}$ , porque es la que se puede estimar con menor error. Es posible hacer un bioensayo y tratar la población con dosis que maten por debajo y por encima del 50 %. De esta manera tendremos datos arriba y abajo de la  $CL_{50}$  para estimar bien la recta. En cambio para la  $CL_{90}$  no podremos tener muchos datos por encima (no se pueden morir más del 100 %...), por lo que el error de la estima es mayor.

El bioensayo nos da una estima del grado de toxicidad del producto sobre esa población, es decir, el grado de sensibilidad o tolerancia de esa población. Para estimar la resistencia será necesario comparar con una población de referencia, utilizando siempre el mismo método de bioensayo. Así el factor de resistencia será la división de la  $CL_{50}$  de la población resistente entre la  $CL_{50}$  de la población sensible de referencia.

$$FR_{50} = \frac{CL_{50} \text{ de la población resistente}}{CL_{50} \text{ de la población sensible de referencia}}$$

Un factor de resistencia ( $FR_{50}$ ) de 2, significará que para matar al 50 % de la población estudiada habrá que doblar la dosis que mata al 50 % de la población de referencia. Con un  $FR_{50} = 100$ , habría que multiplicar la dosis por 100 para matar al 50 % de la población estudiada.

Es necesario resaltar que la existencia de resistencia respecto a una población sensible de referencia, no implica necesariamente resistencia en campo. Por ejemplo, la población de referencia puede tener una  $CL_{50} = 0,5$  ppm, y la población en estudio una  $CL_{50} = 5$  ppm. Esto significará un factor de

resistencia de  $FR_{50} = 5/0,5 = 10$ . Es decir, la población en diez veces más tolerante o resistente (o menos sensible) que la población sensible de referencia. Sin embargo, las concentraciones toleradas pueden no exceder la dosis de aplicación de los productos en campo. Así, siguiendo el ejemplo, la dosis de campo podría ser de 500 ppm (de la materia activa), por lo que la población en estudio, aunque 10 veces más resistente que la sensible de referencia, sería todavía controlada en campo.

En efecto, existe una variabilidad natural entre poblaciones respecto a su susceptibilidad a los insecticidas, lo que no se debe asociar con un fenómeno de resistencia. Cuando se realizan los trabajos previos al registro e introducción comercial de un producto, se estudia la línea base de susceptibilidad (o de resistencia). Esto es el grado de susceptibilidad que tienen las poblaciones antes de ser expuestas al uso del producto. Para ello se recolectan poblaciones de diversas áreas y en diferentes épocas del año, y se realizan bioensayos para obtener las  $CL_{50}$ . Es frecuente y normal que exista una variabilidad entre las poblaciones, y esta variabilidad natural es esperable que esté alrededor de un factor de 10-20 (aunque factores mayores también se han observado). Por tanto, es muy importante conocer de partida (antes del uso del insecticida) tanto la línea base de resistencia (la  $CL_{50}$  combinada de las poblaciones) como la variabilidad natural esperable en esa especie. De esta forma, en el seguimiento posterior de la variabilidad de la sensibilidad (o de la resistencia) en las poblaciones de campo, ya con el compuesto en uso, se podrá interpretar correctamente los datos de  $CL_{50}$  que se obtengan al bioensayar poblaciones expuestas al producto. Se podrá comparar estos datos ( $CL_{50}$  de las poblaciones de campo) con la  $CL_{50}$  de la línea base, y estimar si existe una pérdida de sensibilidad significativa si el factor de resistencia obtenido es considerablemente superior a la variabilidad natural.

### 3. Desarrollo de poblaciones resistentes

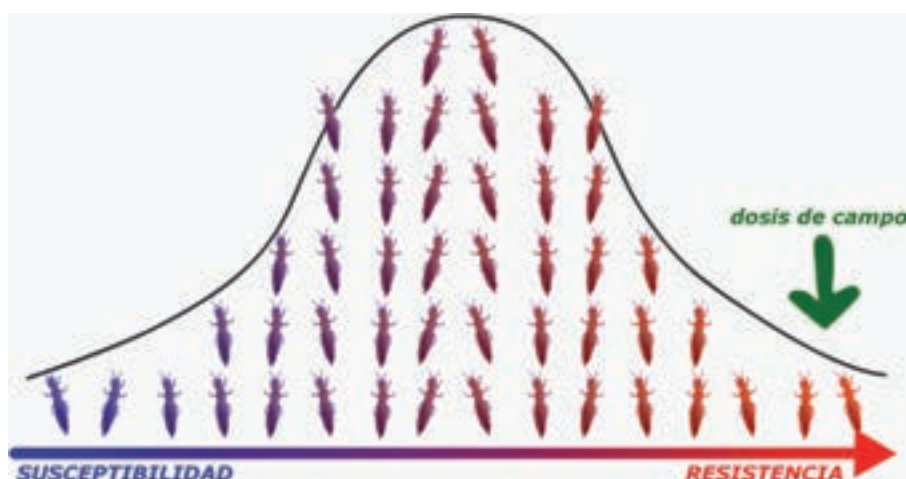
A través de la evolución, durante millones de años, los insectos se han tenido que enfrentar con las defensas de las plantas, principalmente con los productos tóxicos producidos por el metabolismo secundario. De este modo los insectos llevan millones de años enfrentándose a una amplia variedad de tóxicos, por lo que han desarrollado unos mecanismos de detoxificación muy eficientes.

Si además pensamos que muchos insecticidas son una imitación de los tóxicos de las plantas (piretroides, neonicotinoides, etc.), podremos entender

que para las plagas no es algo nuevo la necesidad de desarrollar resistencias, ¡llevan millones de años haciéndolo!. Simplemente ahora el proceso es algo más rápido, es un proceso de adaptación de las poblaciones a un factor abiótico cambiante. La mayoría de las especies de plagas tienen una base genética amplia en lo que respecta a mecanismos de metabolización de tóxicos. El desarrollo de poblaciones resistentes simplemente selecciona los mecanismos más adecuados.

Una población de insectos o ácaros está compuesta por individuos con diferentes grados de sensibilidad a un tóxico (insecticida o acaricida). Así, existirán algunos individuos muy sensibles, otros menos sensibles, otros más tolerantes, y algunos, en un principio muy escasos, que serán resistentes al insecticida a la dosis utilizada.

**Figura 1. Variación dentro de una población en la susceptibilidad o resistencia un compuesto**



La resistencia se origina por la selección de estos individuos resistentes de una población por la presión insecticida. Al tratar con el insecticida prácticamente solo sobreviven los resistentes, y algunos sensibles a los que nos les ha llegado el producto, que serán los que formarán de nuevo la población plaga. Si este proceso se repite de manera insistente, repitiendo el mismo producto, la población estará formada exclusivamente por individuos resistentes, con lo que el tratamiento dejará de ser eficaz.

Se produce un proceso evolutivo a pequeña escala y de manera muy rápida. La presión de selección es la presión insecticida (número y dosis de tratamientos), a mayor presión mayor eficacia y rapidez en la selección. Si la presión insecticida es mayor, solo se da oportunidad a sobrevivir a los individuos resistentes. Así a mayor número de tratamientos con el mismo producto, y/o a mayor dosis de aplicación, las oportunidades de supervivencia de los individuos sensibles disminuyen, aumenta la presión de selección, y la resistencia se desarrolla más rápidamente.

Hay algunas especies de plaga que tienen mayor tendencia a desarrollar resistencias. Estas plagas suelen ser polífagas, tener un rápido desarrollo y muchas generaciones, mucha progenie, y una movilidad efectiva baja.

Las plagas polífagas tienen más y mejores mecanismos de detoxificación, ya que están más adaptadas a tener que detoxificar sustancias procedentes de distintas plantas. Además están más expuestas a la presión insecticida, ya que están presentes en más cultivos. El primer factor hace más fácilmente seleccionable el mecanismo de resistencia, ya que ya existe en la base genética de la especie, y el segundo hace mayor la presión insecticida. Ambos factores combinados provocan que estas especies sean normalmente las que presentan mayores problemas de resistencia (trips, moscas blancas, araña roja, spodoptera, etc.)

Al ser el fenómeno de la resistencia un proceso evolutivo de selección, mientras más rápido sea el desarrollo de huevo a adulto, más generaciones por campaña tenga y más descendencia, las probabilidades de selección son mayores. Así de un número muy bajo de individuos resistentes, será más fácil originar una población resistente dominante.

Uno de los factores que más diluye el desarrollo de la resistencia es el cruce de los individuos resistentes con los sensibles. Es común que la resistencia sea un carácter recesivo, por lo que el cruce de un individuo resistente con uno sensible, dará una progenie sensible. Esto se ve favorecido cuando existe una gran inmigración en el cultivo de individuos sensibles. Así, si la plaga es poco móvil, por sí misma, o porque se lo impedimos con mallas, invernaderos, etc, o porque no existe una población sensible que pueda inmigrar (todos los cultivos son igualmente tratados), no existirá ese flujo de individuos sensibles, y la resistencia se desarrollará más rápidamente.

## 4. Mecanismos de resistencia

Los mecanismos de resistencia a insecticidas se pueden clasificar en cuatro tipos:

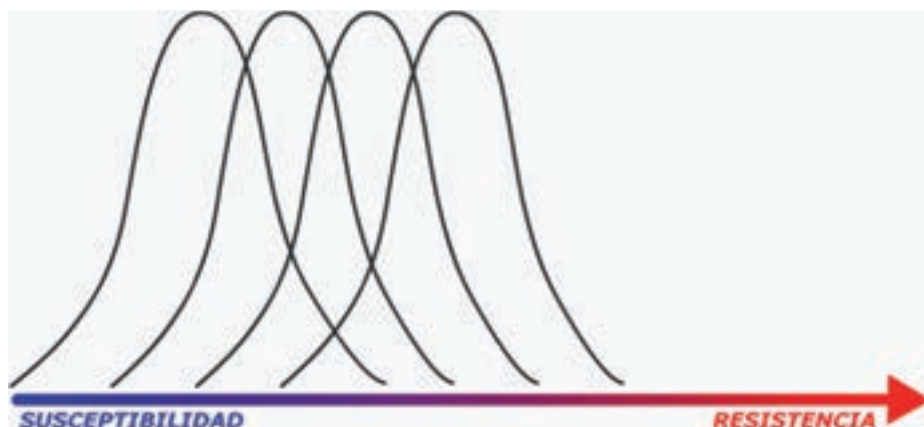
- Etológica
- Menor penetración
- Metabólica
- Insensibilización del punto de acción

El mecanismo etológico consiste en un cambio de comportamiento que le permite al insecto no entrar en contacto con el plaguicida. Realmente no es una resistencia, hablaríamos de una pseudoresistencia, ya que la plaga muere si se expone al insecticida. Esta resistencia por evasión no es muy frecuente, y no genera graves problemas en el campo.

En el mecanismo de menor penetración existen diversos factores que hacen que el tóxico no llegue en suficiente cantidad al punto de acción, produciendo una resistencia efectiva. Así una cutícula más gruesa, o con distintas propiedades físico-químicas, como una menor lipofilia, harán que el insecticida de contacto penetre en menor cantidad en el cuerpo del insecto, permitiendo su supervivencia. No suele conferir altos factores de resistencia, pero multiplica los efectos de la resistencia metabólica.

La resistencia metabólica es la más común de todas, y es la primera en aparecer en campo. Los seres vivos (insectos, ácaros y todos los animales, plantas, hongos, bacterias, etc.) tienen una serie de sistemas enzimáticos que les permiten detoxificar los productos potencialmente peligrosos (tóxicos) que entran en su cuerpo. Estos sistemas enzimáticos son las P450 monooxigenasas (también llamadas oxidasas de función múltiple), las esterasas, y las glutatión S-transferasas. Estos enzimas atacan el plaguicida y, o bien lo secuestran inactivándolo para su acción tóxica, o bien lo metabolizan, normalmente a un producto más hidrófilo, para que sea excretado rápidamente. En relación a los individuos sensibles, los individuos resistentes tienen o mayor cantidad de estos enzimas (mejora cuantitativa) o bien tienen enzimas más eficaces en la degradación (mejora cualitativa). La resistencia metabólica suele ser gradual, aumentando de manera progresiva el factor de resistencia, por acumulación de genes de resistencia (más y/o mejores enzimas).

**Figura 2. Aumento gradual de la resistencia  
cuando el mecanismo implicado es metabólico**



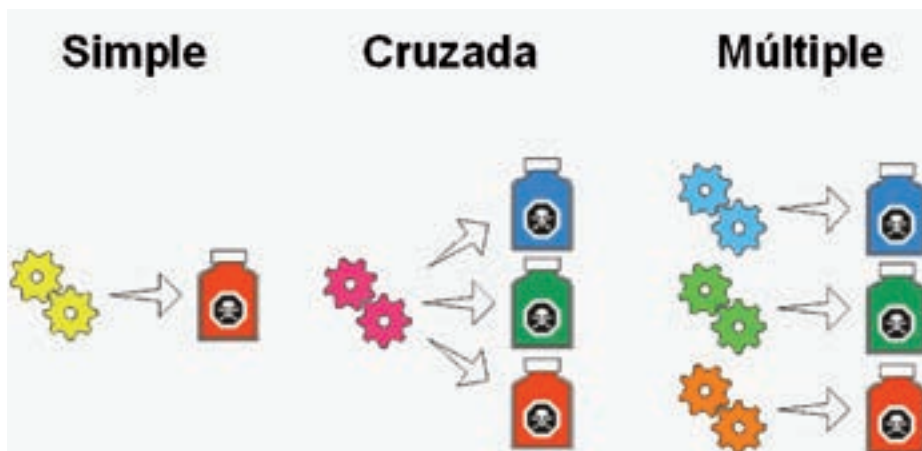
En general, los insecticidas ejercen su acción tóxica al fijarse en un lugar concreto del metabolismo, donde alteran su normal funcionamiento produciendo la muerte. Este lugar se denomina punto de acción, y el modo en que altera el normal funcionamiento, se llama modo de acción. La resistencia por insensibilización del punto de acción, consiste normalmente en un pequeño cambio en el lugar de fijación del tóxico, de manera que deja de ser compatible y, por tanto, deja de tener una acción tóxica. Así, un pequeño cambio genético, una mutación, en el gen que codifica para la proteína que forma el punto de acción, origina una pequeña modificación en su disposición estereoquímica, impidiendo la unión de la molécula del plaguicida. Este tipo de resistencia suele conferir abruptamente un factor de resistencia muy elevado, ya que el insecticida deja de comportarse como un tóxico, y la especie objetivo deja de ser susceptible. Las probabilidades de estas mutaciones son muy, muy bajas, pero si la presión de selección es elevada (tratamientos consecutivos con el mismo producto, dosis excesivas, aplicación abusiva en una zona amplia, nivel de plaga elevado, etc.), se terminan seleccionando.

**Figura 3. Aumento abrupto de la resistencia cuando el mecanismo implicado es una insensibilización en el punto de acción**



La resistencia puede ser simple, múltiple o cruzada. La resistencia simple es cuando un mecanismo de resistencia confiere a la plaga resistencia sobre un compuesto. Resistencia múltiple es cuando la plaga resistente tiene diversos mecanismos de resistencias para diferentes productos. Resistencia cruzada es cuando un mismo mecanismo confiere resistencia a varios productos. El desarrollo de resistencia a un producto por la insensibilización de su punto de acción, puede conferir resistencia a los demás productos que actúan igual, en el mismo punto de acción (p. ej. el desarrollo de resistencia a un piretroide confiere resistencia a otros piretroides). La resistencia metabólica puede conferir resistencia cruzada a otros productos con estructuras químicas parecidas, o radicales químicos similares, lo que ocurre no solo dentro de un mismo grupo químico, sino también entre grupos químicos diferentes (p. ej. el desarrollo de resistencia a un piretroide puede conferir resistencia cruzada a otros compuestos como carbamatos). La resistencia cruzada es un fenómeno relativamente frecuente cuando el mecanismo de resistencia es metabólico.

**Figura 4. Tipos de resistencia en función de los mecanismos de resistencia presentes**



También existe la resistencia cruzada negativa, que consiste en que cuanto más resistente es el insecto a un producto, más sensible es a otro. Este fenómeno sería perfecto para el manejo de la resistencia en campo, pero es muy poco frecuente.

## 5. Un problema creciente

En la actualidad la resistencia a plaguicidas es un problema importante, no solo en insectos y ácaros, sino también en hongos y malas hierbas. Además no solo es un problema de los plaguicidas clásicos (organofosforados, carbamatos, piretroides, neonicotinoides, etc.), sino también de los llamados biorracionales, como los reguladores del crecimiento de los insectos (IGRs), *Bacillus thuringiensis*, e incluso puede desarrollarse en feromonas, etc.

Los organismos que producen los problemas fitosanitarios suelen poseer una amplia flexibilidad genética, ya que precisamente esa característica es la que les ha convertido en plagas. Así, casi cualquier método de control que se utilice en exclusiva, terminará seleccionando individuos que sean capaces, por uno u otro mecanismo, de contrarrestar la medida de control. Dada la amplia y duradera utilización de productos fitosanitarios, la resistencia a los plaguicidas es bien conocida. Pero también se desarrollarán otros tipos de resistencias o tolerancias a otros métodos de control no químicos, como biotécnicos, genéticos e incluso biológicos, si se utilizan en exclusiva y de manera abusiva. La

clave será siempre utilizar varios métodos de control, combinándolos de manera armoniosa, para optimizar su efectividad y su sostenibilidad. La gestión integrada de plagas conseguirá no solo el uso sostenible de los fitosanitarios, como pretende la Directiva 2009/128/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, sino también el uso sostenible de todos los métodos de control de plagas.

Las nuevas regulaciones en el registro y etiquetado de los fitosanitarios en la Unión Europea están reduciendo el número de productos disponibles en la protección de los cultivos. Al tener menos herramientas disponibles, se tiende a usar más frecuentemente las mismas, llevando a un uso repetido o sobreuso de algunos compuestos, lo que provocará un mayor desarrollo de resistencias.

Además, la creciente y exitosa integración de las medidas de control biológico, demanda plaguicidas compatibles con los enemigos naturales. Al ser más escasos estos compuestos compatibles, se tiende más a su uso reiterado, lo que ocasiona un aumento del riesgo de desarrollo de resistencias. Es más, la falta de eficacia de estos productos por el desarrollo de resistencia es más grave aún si cabe, ya que puede suponer la inviabilidad del protocolo completo de control integrado. Esto puede llevar a su abandono y a la vuelta a un sistema de control basado en los plaguicidas, en vez de en los agentes de control biológico.

Por todos los riesgos existentes expresados en los párrafos anteriores, el desarrollo de estrategias antirresistencia es una pieza clave de una gestión integrada de plagas fiable y consistente.

## 6. Estrategias de manejo de la resistencia

Las estrategias de manejo de la resistencia se basan en dos premisas fundamentales:

- La resistencia es más fácil evitarla que revertirla.
- Se debe disminuir la presión de selección.

La primera premisa se basa en que en las fases iniciales de desarrollo de la resistencia, los individuos resistentes son muy raros, y/o están peor adaptados que los sensibles. Por esta menor valencia ecológica, si se disminuye la presión de selección, rápidamente los individuos resistentes serán desplazados de la población. En cambio, si la presión de selección persiste, los individuos resistentes empezarán a cruzarse con los sensibles mejor adaptados, realizándose

reselecciones de individuos hasta obtener individuos resistentes, más numerosos y con elevado valor ecológico. En este punto de difícil retorno, será más difícil desplazarlos de la población aunque disminuya la presión de selección.

De esta forma es de enorme interés tener un programa de seguimiento de la evolución de la resistencia, así como el desarrollo de herramientas de diagnóstico precoz de la resistencia. Para ello será necesario haber establecido antes, como se ha mencionado, la línea base de susceptibilidad y la variabilidad natural esperable, para tener una referencia de partida.

La segunda premisa se basa en que a menor presión de selección, menor intensidad de selección, y menor velocidad de desarrollo de la resistencia. Todo lo que sea permitir la supervivencia de individuos sensibles, y la mezcla de individuos sensibles con las poblaciones tratadas, favorecerá la conservación de poblaciones sensibles, dilatando el desarrollo de la resistencia.

Así un manejo adecuado de la resistencia consistirá en evitar tratamientos innecesarios, aplicar en el momento adecuado, dejar períodos sin aplicaciones o sin aplicaciones de un producto, utilizar las dosis adecuadas, conservar refugios con individuos sensibles, rotación de materias activas, reducir o reservar el uso de algunos productos, utilización de sinergistas, y todo lo que sea control integrado.

La rotación de materias activas consiste en alternar productos con diferentes mecanismos de resistencia. Ya que materias activas diferentes, con el mismo modo de acción (mismo grupo) o con diferente, pueden tener resistencias cruzadas al estar afectados por un mismo mecanismo de resistencia, hay que rotar mecanismos de resistencias. No vale que sean materias activas diferentes, ni siquiera que sean de grupos químicos diferentes, tienen que tener mecanismos de resistencia diferentes, porque es imprescindible que no tengan resistencias cruzadas. De este modo, los supervivientes a un tratamiento, serán sensibles al siguiente tratamiento y no sobrevivirán, y así sucesivamente, cortando las posibilidades de establecimiento en la población de individuos resistentes. Para establecer estas estrategias anti-resistencias es necesario previamente estudiar los mecanismos de resistencia implicados o potenciales en las resistencias a cada compuesto.

Otra posibilidad de combinar materias activas es en vez de alternarlas cada vez, hacerlo por períodos. Así en períodos concretos del cultivo, se trata con un tipo de productos, y en otros períodos, con otro tipo sin resistencias cruzadas con los anteriores. Estas estrategias se denominan de «ventanas»,

existiendo «ventanas» a lo largo del cultivo en el que se aplican distintos compuestos, sin resistencias cruzadas entre «ventanas».

También se puede alternar en el espacio en vez de en el tiempo, lo que se llama en mosaico. Esta forma consiste en tratar unas zonas con un producto y otras con otro sin resistencia cruzada (distinto mecanismo de resistencia), y en el siguiente tratamiento se cambia el producto de cada zona.

La otra alternativa de rotación de materias activas es la mezcla de productos con mecanismos de resistencia distintos. Si la frecuencia de individuos resistentes a un producto es en principio muy baja, la frecuencia de individuos resistentes a los dos productos, si tienen mecanismos de resistencia diferentes, será extraordinariamente baja. Así las probabilidades de desarrollo de la resistencia serán menores. Este método es peligroso, ya que si las frecuencias no son tan bajas porque haya habido un uso previo del producto, o existen resistencias cruzadas con otros productos usados con anterioridad, este sistema provocará una presión de selección mayor, y por tanto acelerará el desarrollo de la resistencia.

En definitiva, la mejor estrategia anti-resistencia es una verdadera gestión integrada de plagas, en el que se combinen los distintos métodos de control de manera eficaz. Un enfoque múltiple en las estrategias de control será lo que permitirá tener un control de plagas fiable y duradero. Y en particular, para un uso sostenible de los fitosanitarios, será necesario seguir estrategias de manejo de la resistencia basadas en:

- Determinar la línea base de susceptibilidad y la variabilidad natural.
- Conocer los mecanismos de resistencia implicados y los potenciales.
- Reconocer las resistencias cruzadas y los posibles sinergismos.
- Establecer la rotación y uso óptimo (dosis, momentos, etc.) de los plaguicidas.
- Incorporar todo ello en una gestión integrada de todas las plagas de un cultivo.
- Seguimiento del desarrollo de resistencias y actualización de las estrategias.

# Sublimadores: uso para el control del oídio

*Corpus Pérez Martínez*

Estación Experimental de Cajamar 'Las Palmerillas'

## Definición

Los sublimadores de azufre se utilizan principalmente para prevenir la aparición de enfermedades fúngicas como el oídio en invernadero. Es una técnica eficaz y compatible con la lucha integrada y el cultivo ecológico

El oídio es una de las principales enfermedades fúngicas que atacan a los cultivos hortícolas, tanto al aire libre como en invernadero. El viento o corrientes de aire favorecen la diseminación de las esporas, que germinan en la superficie de las hojas, colonizando el micelio, el interior de la hoja y produciendo manchas amarillas o pulverulentas de color blanco en el haz y un fieltro blanco en el envés de la misma. Con el avance de la mancha, se necrosa el tejido llegando a secarse las hojas e incluso provocando importantes defoliaciones. Las condiciones óptimas para que se desarrolle el oídio son temperaturas de 26 °C y una humedad relativa del 70 % (Cádenas, 2003).

El azufre es uno de los productos más empleados desde hace décadas en la agricultura intensiva, destacando por sus propiedades fúngicas y acaricidas ya que previene la aparición de oídio y retrasa la aparición de araña roja y blanca.

Tradicionalmente el azufre se ha aplicado mediante espolvoreos (azufre en polvo) o pulverizaciones (azufre mojabable o líquido), siendo el sublimado (azufre sólido) la forma menos utilizada por los agricultores almerienses. La utilización de sublimadores de azufre para prevenir la aparición de oídio es una técnica muy extendida en el mundo, utilizándose principalmente en los cultivos de pimiento y en floricultura (Huertas y Rodríguez, 2001). En la Estación Experimental de Cajamar 'Las Palmerillas' se está trabajando desde la campaña 2007 sobre el uso de sublimadores para el control de oídio en invernadero.

**Figura 1. Sublimador para el control de oídio en invernadero**



El sublimador consiste en un recipiente cilíndrico con una resistencia eléctrica y un plato de vaporación donde se coloca el azufre en estado sólido. La resistencia eléctrica aporta calor para fundir el azufre y evaporarse gradualmente en forma gaseosa.

El azufre en estado gaseoso penetra en las células del oídio como resultado de la solubilidad en los lípidos de las paredes celulares del hongo (García-Jiménez, 1997). En el interior de la célula el azufre es reducido a sulfuro de hidrógeno interfiriendo en varios procesos metabólicos al bloquear la respiración celular e inhibir la síntesis de ácidos nucleídos y proteínas. Estos procesos ocurren durante las ocho horas siguientes al tratamiento, con una actividad máxima entorno a la tercera hora.

**Figura 2. Cambio de estado en el proceso de sublimación**



El control de temperatura es un factor muy importante para evitar que se generen óxidos de azufre no deseados ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_4$ , etc.), por lo que esta no debe superar los  $155^\circ\text{C}$  (Figura 3).

**Figura 3. Temperaturas de funcionamiento en un sublimador**



El consumo eléctrico del sublimador dependerá del modelo comercial, oscilando entre 75 y 100 vatios desde el arranque inicial hasta alcanzar la temperatura ideal de vaporización. Posteriormente, para mantener dicha temperatura el consumo eléctrico será de 50 vatios.

Al utilizar los sublimadores es necesario tener en cuenta una serie de recomendaciones básicas como:

- Es necesario tener instalación eléctrica en la finca.
- Instalar un sublimador cada 200-300  $\text{m}^2$  y distribuirlos de forma trebolillo para cubrir toda la superficie a proteger.

- Emplear cilindros de azufre con una riqueza mayor del 99,0 % o azufre micronizado al 98,5 % aunque contiene mayor proporción de impurezas.

**Figura 4. Cilindros de azufre utilizadas en los sublimadores**



- Colocar los sublimadores a 30 cm por encima del cultivo e ir subiéndolos conforme se desarrolle el mismo.
- No sobredosificar el plato de vaporación del sublimador ya que al licuarse puede derramarse.
- Vigilar el funcionamiento y retirar los residuos periódicamente.
- El funcionamiento siempre es nocturno, por lo que se requiere temporizadores en la finca. Comenzar con 3 horas de funcionamiento al inicio del cultivo (planta pequeña) e ir aumentando progresivamente hasta un máximo de 8-10 horas, en función de la densidad de sublimadores, de las condiciones climáticas, del tipo de invernadero, de la sensibilidad del cultivar, etc.
- La cantidad de azufre sublimado depende de la temperatura de sublimación.
- Desconectar los sublimadores 1-2 horas antes de entrar a la finca y ventilar a primera hora de la mañana.

- Colocar un protector sobre cada sublimador que impida que se concentre el azufre sublimado en el plástico de la cubierta y facilite la difusión del producto.

**Figura 5. Protector que evita la acumulación del azufre en el plástico de cubierta**

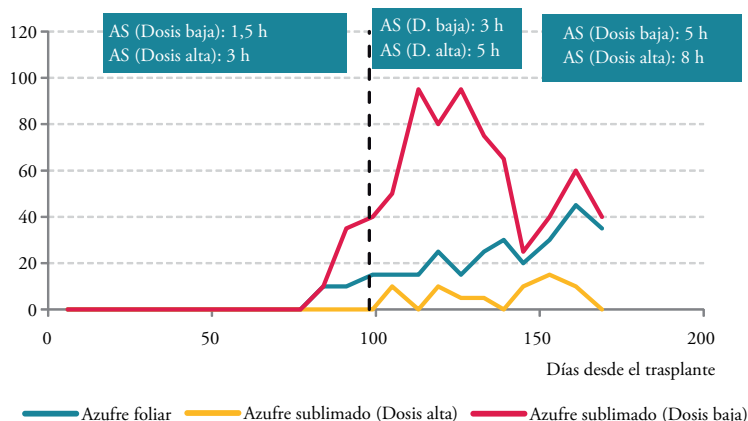


El empleo de sublimadores en los cultivos hortícolas presenta más ventajas que inconvenientes. Dentro de las ventajas destacan principalmente las siguientes:

El uso de sublimadores es una técnica muy eficaz en prevenir la aparición de oidio en los cultivos hortícolas.

En la Estación Experimental de Cajamar ‘Las Palmerillas’ se ha evaluado la incidencia de oidio en diferentes cultivos hortícolas al aplicar azufre en polvo, foliar o sublimado (Gázquez *et al.*, 2009). En pimiento, el método más efectivo para controlar dicha enfermedad fúngica fue el azufre sublimado (8 horas máximo de funcionamiento) detectándose solo un 15 % de plantas con oidio frente al 45 % de plantas al aplicar azufre foliar o al 100 % de las plantas al no realizar ningún tratamiento preventivo-curativos (Pérez, 2013). Al reducir el número de horas de funcionamiento del azufre sublimado (4 horas como máximo) se detectó el 95 % de plantas con oidio, por lo que no fue un método muy eficaz (Gráfico 1). En tomate, los resultados fueron muy similares a los obtenidos en pimiento.

**Gráfico 1. Porcentaje de plantas con oídio en pimiento al aplicar azufre foliar, azufre sublimado a dosis baja (funcionamiento máximo durante 4 horas al día) y azufre sublimado a dosis alta (funcionamiento máximo durante 8 horas al día). En porcentaje**

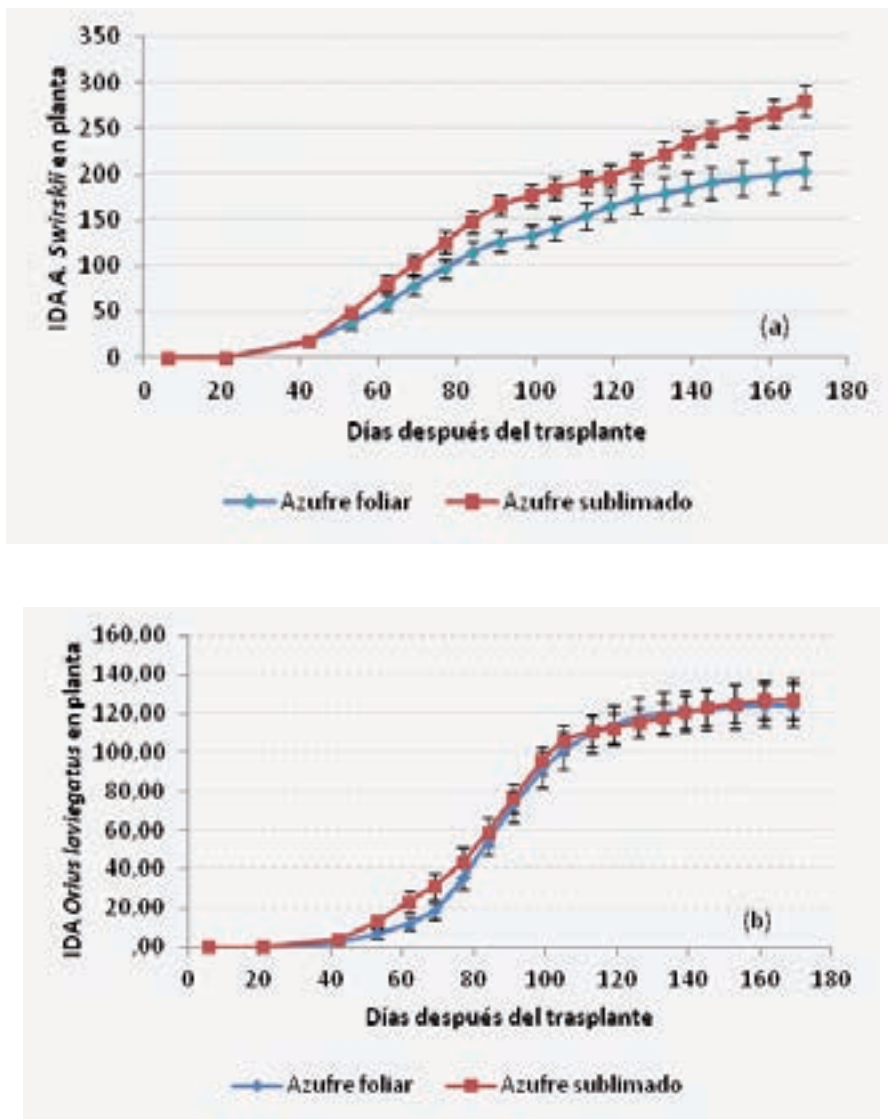


El uso de sublimadores es una técnica que reduce las infecciones fúngicas desde el inicio el cultivo, reduciendo la necesidad de realizar tratamientos específicos para dicha enfermedad, así como reduciendo el número de horas dedicadas a tal operación.

El uso de sublimadores es una técnica compatible con la lucha integrada ya que son muy respetuosos con la fauna auxiliar.

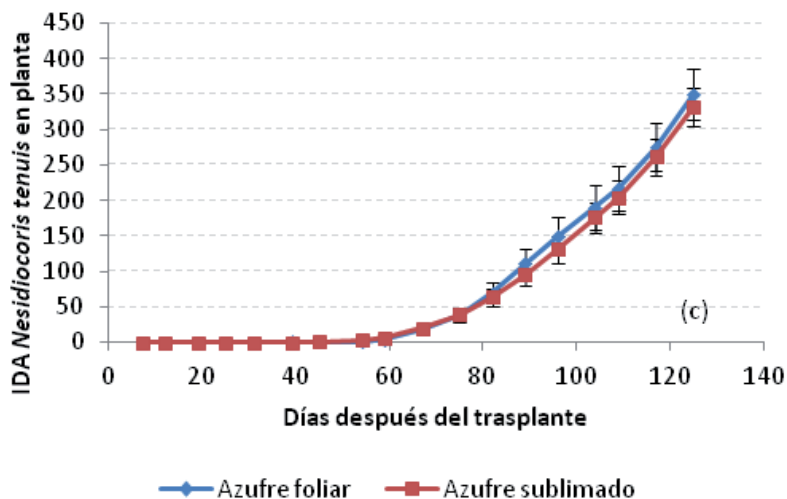
En la Estación Experimental de Cajamar ‘Las Palmerillas’ se ha evaluado el efecto de los sublimadores sobre los enemigos naturales, principalmente *Orius laevigatus*, *Amblyseius swirskii* y *Nesidiocoris tenuis*. Se calculó la incidencia día acumulado (IDA) de acuerdo con los trabajos realizados por Moreno-Vázquez (1994), Cabello y Benítez (1994). El azufre sublimado no afectó a la implantación del control biológico ya que las poblaciones de *Orius laevigatus*, y *Nesidiocoris tenuis* fueron similares a las observadas al aplicar azufre foliar, mientras que la población de *Amblyseius swirskii* se incrementó un 27 % respecto a la aplicación con azufre foliar (Gráfico 2).

Grafico 2. Evolución de la población de *Amblyseius swirskii* (a), *Orius laevigatus* (b) y *Nesidiocoris tenuis* (c) con diferentes métodos de aplicación de azufre



Fuente: Gázquez *et al.* (2009).

**Grafico 2 (cont.). Evolución de la población de *Amblyseius swirskii* (a), *Orius laevigatus* (b) y *Nesidiocoris tenuis* (c) con diferentes métodos de aplicación de azufre**



Fuente: Gázquez *et al.* (2009).

El uso de sublimadores favorece el desarrollo vegetativo del cultivo (Figura 6) y su aspecto especialmente en las hojas y frutos, ya que no quedan depósitos de azufre derivados de las aplicaciones fitosanitarias (Figura 7).

**Figura 6. Aspecto de diferentes cultivos con aplicación de azufre sublimado y sin azufre sublimado**



**Figura 7. Aspecto de la hoja y del fruto con aplicaciones de azufre foliar y azufre sublimado**



Un aspecto muy importante a tener en cuenta cuando se utilizan sublimadores es la cubierta del invernadero. El azufre y el cloro, derivados de la utilización de fitosanitarios, son los principales responsables de la degradación de los plásticos, reduciendo claramente la vida útil de la cubierta del invernadero. Por tal motivo, el Comité Español de Plásticos para Agricultura (CEPLA) en el año 2012 adoptó una directriz en la cual fijaban los límites máximos admitidos de concentración de azufre y cloro en los plásticos de cubierta para poder garantizar su duración. Así mismo recomienda que la dosis utilizada de fitosanitarios sea proporcional en el tiempo, tal que la concentración máxima acumulada por año no supere las 1000 ppm de azufre y 70 ppm de cloro (Tabla 1).

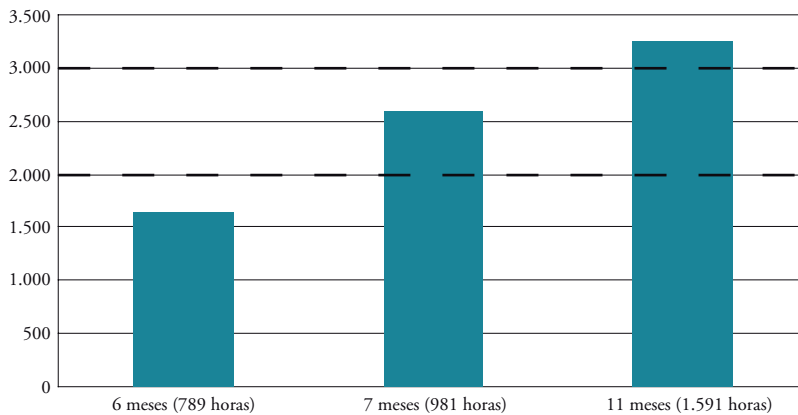
**Tabla 1. Límites máximos acumulados**

| Plástico   | Azufre (partes por millón) | Cloro (ppm) |
|------------|----------------------------|-------------|
| 2 campañas | 1.500                      | 100         |
| 3 campañas | 2.000                      | 150         |
| 3 años     | 3.000                      | 200         |

Fuente: CEPLA (2012).

Cuando se utilizan sublimadores sin ningún tipo de protección, la mayor concentración de azufre se produce en la zona donde se coloca el sublimador, así pues después de 11 meses de exposición y 1.591 horas sublimando azufre, la concentración de azufre acumulada es superior a 3.000 partes por millón (Gráfica 3). Cantidad superior al límite máximo permitido para un plástico de 3 años, así como a la recomendación de no superar 1.000 ppm por año, según directriz CEPLA. La consecuencia inmediata de superar dichas concentraciones máximas es la rotura del plástico (Figura 8).

**Gráfico 3. Concentración de azufre en el plástico de cubierta, situación encima del sublimador sin protección. En ppm**

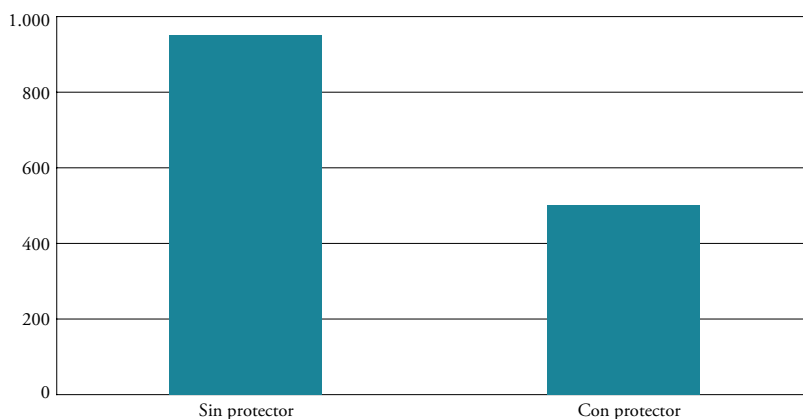


**Figura 8. Roturas en el plástico de cubierta al utilizar sublimadores sin protección**

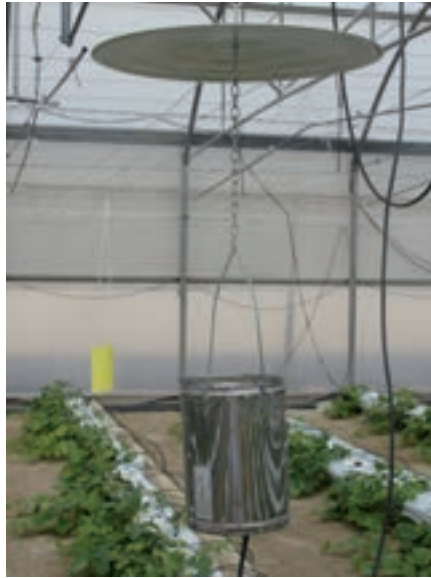


Al colocar un protector al sublimador, la concentración de azufre en la cubierta plástica se reduce en un 46 %, evitando la degradación prematura del plástico (Gráfico 4).

**Gráfico 4. Concentración de azufre acumulada en el plástico de cubierta situado encima del sublimador sin protección y con un protector durante 447 horas de funcionamiento del sublimador de azufre. En ppm**



**Figura 9. Sublimador con protector en un cultivo de melón**



## Referencias bibliográficas

- CABELLO, T. y BENÍTEZ, E. (1994): «*Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera; Thripidae)»; en MORENO, R., ed.: *Sanidad vegetal en la horticultura protegida*. Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía, Sevilla; pp. 157-178.
- CÁDENAS, F.; GÓNZÁLEZ, J. y HERNÁNDEZ, M. (2003): «El cultivo protegido del tomate»; *Técnicas de producción en cultivos protegidos*. Ed. Caja Rural Intermediterránea, Cajamar; pp: 483-537.
- CEPLA (2013): *Directriz CEPLA para filmes de cubierta de invernadero*. [www.cepla.com](http://www.cepla.com).
- GARCÍA-JIMÉNEZ, J. (1997): «Enfermedades del melón causadas por hongos y nematodos»; *Melones. Compendios de Horticultura* (10). Namesny, ediciones de horticultura, Barcelona; pp: 131-139.
- GÁZQUEZ, J. C.; LÓPEZ J. C.; BAEZA, E.; PÉREZ-PARRA, J. J.; PÉREZ, C.; MECA, D. y NAVARRO, S. (2009): «Influence of the Sulphur Application Method on Pests, Diseases and Natural Enemies in a Greenhouse Pepper Crop»; *Interbnational Symposium on Gigh Technology for Greenhouse Systems* (GreenSys). Quebec.

- HUERTAS, J. y RODRIGUEZ, J. (2001): «Optimization of sulphur sublimators used in the Colombian flower industry»; *Symposium on Thermodynamics and the Design, and Improvement of Energy Systems*. New York, International Mechanical Engineering Congress and Exposition.
- MORENO-VÁZQUEZ, R. (1994): «Análisis de datos»; en MORENO, R., ed.: *Salud vegetal en la horticultura protegida*. Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía, Sevilla; pp. 109-112.
- PÉREZ, C. y GÁZQUEZ J. C. (2013): «Uso de sublimadores para el control del oídio en hortalizas»; *Vida Rural* (360); pp. 40-43.

# Control biológico en invernaderos

*Mónica González Fernández*

Estación Experimental de Cajamar 'Las Palmerillas'

## 1. Introducción

Como toda actividad humana, la agricultura incide en el medio natural, de este modo el hombre modifica su entorno para adaptarlo a sus necesidades. Sin embargo, estos cambios suponen, necesariamente, cambios en las relaciones de equilibrio entre los distintos elementos que conforman y componen el ecosistema. Inevitablemente, la actividad agrícola, desestabiliza la balanza promoviendo una fuerte simplificación del medio natural, cada vez mayor a medida que se intensifica la producción con la idea de incrementar la productividad. En este sentido, el desarrollo agrícola ha supuesto la pérdida de biodiversidad, y una de las principales consecuencias es la vulnerabilidad de los cultivos a plagas y enfermedades.

El concepto de plaga es totalmente antropocéntrico, ya que implica un perjuicio para el ser humano. En agricultura, la noción de plaga se asocia, por lo general, con artrópodos terrestres, insectos y ácaros, que se alimentan de los tejidos de las plantas 'fitófagos', llegando a producir un daño económico. Sin embargo, deben excluirse los microorganismos, virus y bacterias, además de los hongos, ya que los daños que causan se denominan comúnmente enfermedades. En general se puede considerar plaga a toda aquella población animal que como consecuencia de una ruptura en el equilibrio ecológico, reduce la producción o la calidad de los alimentos, de tal forma que todo ello justifique una intervención contra la misma. En la naturaleza no hay plagas, en un ecosistema natural en equilibrio no se produce la muerte de una población de plantas debido al ataque de cualquier insecto fitófago. Como se ha comentado, en un ecosistema natural se establece un equilibrio ecológico en el que los insectos que se alimentan de las plantas sirven de presa a sus enemigos naturales, por lo que nunca llegan a desarrollar grandes poblaciones.

En el caso de la agricultura intensiva bajo plástico se evidencia que las condiciones de humedad y temperatura, así como la abundancia de comida en el interior proveen un ambiente excelente y estable para el desarrollo de las plagas (Altieri y Letourneau, 1982). Esto se agrava porque en el interior de invernadero los enemigos naturales que ayudan al control de los fitófagos no suelen estar presentes, por estos motivos, las plagas se desarrollan con facilidad y de forma más severa dentro del invernadero que fuera del mismo. El control de las plagas y de las enfermedades es uno de los mayores retos a los que se enfrenta el agricultor.

Tradicionalmente el control de plagas en agricultura se ha basado en el empleo de compuestos químicos de síntesis con una elevada frecuencia, llegando incluso al uso de aplicaciones semanales preventivas. Esta utilización abusiva, incluso exclusiva, de fitosanitarios en nuestros cultivos paradójicamente ha llevado a una mayor incidencia de plagas y enfermedades. Esto ocurre porque los productos afectan también a los enemigos naturales de las plagas, que son además más sensibles, por lo que terminan eliminándolos del entorno. El empleo de fitosanitarios ha supuesto la aparición de resistencias a los insecticidas en las poblaciones de las plagas, así como la aparición de problemas medioambientales y problemas toxicológicos tanto para el agricultor como para el consumidor. Hay que tener en cuenta que el uso de estos productos también incrementa los costes de cultivo, ya que las materias activas suelen ser muy caras, al igual que los equipos de tratamiento y la mano de obra necesaria para su aplicación. La lucha química, y la aparición de resistencias asociadas a la misma, deriva en que para poder seguir haciendo frente a las plagas el agricultor tenga que utilizar dosis cada vez más altas de estos productos fitosanitarios y que haya tenido que emplear cada vez un mayor número de materias activas, llegando a una situación insostenible. Estos problemas han planteado la búsqueda de alternativas viables al tradicional control químico de plagas en el ámbito de la denominada Producción Integrada (Aparicio *et al.*, 2010).

La Producción Integrada propugna la producción de alimentos de alta calidad utilizando métodos que respeten la salud del consumidor y del propio productor, aplicando procesos productivos respetuosos con el medioambiente, minimizando y justificando el uso de productos agroquímicos y, a la vez, asegurando la viabilidad económica de manera que se adapte a la forma de producción de las empresas agrícolas actuales. La Producción Integrada utiliza al máximo los recursos y mecanismos de producción naturales y asegura a lar-

go plazo una agricultura sostenible, introduciendo en ella medios biológicos y químicos de control y otras técnicas que compatibilicen las exigencias de la sociedad, la protección al medioambiente y la productividad agraria, entre otras cosas (Aparicio *et al.*, 2010).

En los sistemas de Producción Integrada se realiza un Control Integrado de plagas, que se define como un sistema en el que se combinan todos los métodos al alcance para disminuir los daños producidos por la plaga, con el menor impacto sobre el medioambiente. En este marco, hay que hacer especial mención a la reciente entrada en vigor a partir del 1 de enero de 2014 del nuevo Real Decreto 1311/2012, de 14 de septiembre, que da respuesta a la Directiva Europea 2009/128/EC y que establece el marco de actuación comunitario para conseguir un uso sostenible de los productos fitosanitarios, mediante la reducción de los riesgos y los efectos del uso de los productos fitosanitarios en la salud humana y el medioambiente, y el fomento de la gestión integrada de plagas y de planteamientos o técnicas alternativos, tales como los métodos no químicos

Entre todos los métodos contemplados en el Control Integrado de Plagas, el más interesante es el Control Biológico, que según la Organización Internacional de Control Biológico (IOBC) se define como la utilización de organismos vivos, de sus recursos o de sus productos para prevenir o reducir las pérdidas o daños causados por organismos plaga.

## 2. Control biológico de plagas

El Control Biológico forma parte de un fenómeno más amplio, el control natural, mencionado anteriormente. El control natural supone la acción de todos los factores ambientales, tanto físicos como biológicos, que gobiernan las densidades poblacionales de diferentes organismos y se define como «el mantenimiento de la densidad de una población más o menos fluctuante de un organismo dentro de ciertos límites (superiores e inferiores) definibles en un periodo de tiempo, gracias a la acción de factores abióticos y/o factores bióticos ambientales» (De Bach, 1985). El control biológico por su parte se define como «la acción de parasitoides, depredadores y patógenos en el mantenimiento de las densidades de poblaciones de otros organismos en niveles inferiores a los que existirían en su ausencia». Por tanto el Control Biológico es un fenómeno natural de regulación de la densidad de plantas y animales por enemigos naturales. En este sentido se puede considerar que los enemigos

naturales, son los agentes de control natural más importantes y los que ejercen mayor efecto sobre las poblaciones plaga.

Un carácter que hace que los enemigos naturales resulten de gran interés es que pueden ser manipulados por el hombre, de esta manera, frente al control biológico natural, ejercido por enemigos naturales de las plagas presentes en la naturaleza, el control biológico aplicado, es aquel que está ejercido por organismos de control biológico (OCB), también conocidos como auxiliares criados y liberados por el hombre.

El empleo del control biológico de plagas presenta ventajas e inconvenientes. Entre las ventajas cabe señalar que los problemas de la plaga no se ven intensificados, ni se crean problemas nuevos. Los enemigos naturales tienen la capacidad de buscar y encontrar a la plaga, así como aumentar en número y extenderse, todo lo cual permite disminuir en cierta forma el coste de control. Uno de los aspectos más importantes es que el uso de enemigos naturales no genera resistencias en las plagas, por lo que este control dura o permanece en el tiempo. El control biológico no tiene riesgo de toxicidad para las plantas, ni para las personas, no contamina el medioambiente, no deja residuos, por tanto no es necesario respetar plazos de seguridad. Consecuentemente es posible obtener un alto valor añadido en la producción, comparado con otras producciones agrarias y se cumplen los requerimientos de los mercados y consumidores en relación a una mayor seguridad alimentaria.

El control biológico también implica algunas desventajas, entre las que destacan, por ejemplo la lentitud en su forma de acción, que nunca erradican completamente a la plaga. Por ser seres vivos son impredecibles y en algunas ocasiones pueden resultar difíciles o caros de obtener o de aplicar. Por otra parte, no existen en el mercado productos biológicos para controlar eficazmente todos los fitófagos que afectan a nuestros cultivos.

Hay que tener en cuenta que la gran incidencia de plagas y enfermedades en nuestros cultivos, tanto por el número de especies, como por sus elevadas poblaciones, obliga al empleo de diferentes enemigos naturales, además de su uso conjunto con la lucha química, siempre empleando productos naturales autorizados y compatibles con los auxiliares. Además, en muchas ocasiones, la eficacia del control depende de las condiciones climáticas. En este sentido, dentro de los invernaderos las condiciones microclimáticas a veces dificultan la actividad de enemigos naturales de las plagas. El control biológico requiere de conocimientos técnicos en la liberación de enemigos naturales y un asesoramiento técnico continuo (Jacas y Urbaneja, 2009).

### 3. Agentes de control biológico

Para poder realizar el control biológico de plagas en un determinado ecosistema agrícola y seleccionar la estrategia de introducción de OCB más adecuada, es necesario clasificar las plagas presentes como reales o inducidas. Las plagas reales son las que carecen de enemigos efectivos, mientras que las inducidas sí que los tienen pero estos son incapaces de actuar por diversos factores. Entre las estrategias de introducción se puede considerar la introducción de especies exóticas para su establecimiento en el ecosistema; o por el contrario se puede decidir la conservación o mejora de la efectividad de los enemigos naturales autóctonos o indígenas. Además existe la posibilidad de aumentar o incrementar artificialmente la presencia de los OCB propios del ecosistema. El control biológico de plagas reales requiere necesariamente la introducción de OCB exóticos. Si se trata de plagas inducidas, primero se debe intentar conservar los auxiliares autóctonos y si no es suficiente se introducirán (Jacas y Urbaneja, 2009).

Históricamente, el control biológico clásico ha consistido en la introducción de enemigos naturales de las plagas. Hay que tener además en cuenta que muchas de las plagas que afectan a nuestros cultivos son introducidas o exóticas, por lo que en muchas ocasiones se han buscado los enemigos naturales que resultan eficientes en su zona de origen. Para que el control biológico clásico tenga éxito es necesario, no solo encontrar un enemigo natural efectivo, sino que, además, este se adapte bien a las condiciones ambientales del lugar donde deseamos introducirlo. Es necesario también tener en cuenta la competencia que puedan ejercer estos organismos introducidos con los enemigos naturales autóctonos.

Por otro lado, el control biológico aumentativo implica la introducción de enemigos naturales, ya sean importados o no, y la manipulación ambiental para favorecer el incremento de sus poblaciones. Esta estrategia trata, por tanto, de aumentar rápidamente los niveles poblacionales de los enemigos naturales, ya que de forma espontánea tardarían demasiado en hacerlo o no llegarían nunca a los niveles necesarios para controlar efectivamente a la especie plaga. Este tipo de control biológico requiere de la identificación y selección en la naturaleza del enemigo natural más adecuado; su cría en masa, que dependerá de su coste económico. Es necesario conseguir que la cría de este organismo sea constante y elevada y que permita la liberación en masa al poco tiempo de su selección, teniendo en cuenta, por supuesto, el deterioro

genético y la pérdida de eficiencia que resulta en condiciones controladas de laboratorio; y por último su liberación en campo.

Los OCB se pueden clasificar como entomófagos (depredadores y parasitoides) y entomopatógenos (virus, bacterias, hongos, nematodos y protozoos).

Los depredadores son insectos o ácaros que se alimentan de otros animales, considerados presas. Se caracterizan por consumir en estadios inmaduros numerosas presas para completar su desarrollo hasta el estado adulto. Salvo en el estado de huevo, el depredador desarrolla toda su actividad de forma libre, siendo depositados los huevos próximos o sobre las presas, de modo que una vez que emergen las ninfas o larvas pueden alimentarse capturando y matando a sus presas. No suelen ser específicos. Los grupos principales son: neurópteros, coccinélidos, míridos, antocóridos, ácaros fitoseidos, etc. Por otro lado, los *parasitoides* son insectos que viven y se desarrollan en el interior o sobre otro artrópodo, su huésped, causándole la muerte en un corto periodo de tiempo. A diferencia de los depredadores los parasitoides suelen ser bastante específicos en la selección del huésped. La mayor parte son himenópteros y dípteros. Por último, los *entomopatógenos* son microorganismos, bacterias, virus, hongos, protozoos y nematodos capaces de causar enfermedades a los insectos. En la actualidad existen numerosos preparados comerciales a base de estos patógenos que se utilizan para el control de numerosas plagas (Jacas y Urbaneja, 2009).

#### 4. Principales plagas presentes en los cultivos bajo plástico en el sureste español y sus enemigos naturales

El número de especies de artrópodos y patógenos que originan pérdidas en los cultivos hortícolas bajo plástico es muy elevado. El mayor impacto económico es causado por aproximadamente 61 especies. Teniendo en cuenta que la superficie total se reparte entre ocho cultivo principales, supone un número importante de plagas. En torno al 42 % de estas especies son artrópodos, seguido de hongos el 27 %, virus el 19 % y bacterias el 11 %, el resto son nematodos. Entre los artrópodos más problemáticos podemos enumerar dentro del orden de los Hemípteros, el suborden de los Homópteros, que engloba a moscas blancas (familia *Aleyrodidae*), pulgones (familia *Aphididae*) y cochinillas (familia *Pseudococcidae*), entre otros. Otros órdenes que comprenden a las familias de mayor impacto en agricultura protegida son *Thysanoptera*, que representa a los trips (Familia *Thripidae*); el orden *Diptera*, que contiene a la

familia *Agromyzidae* de los minadores de hojas y el orden Lepidoptera que abarca a mariposas y polillas. Por otro lado, dentro de la clase arácnida nos encontramos el orden Acariformes que recoge varias familias de ácaros plaga como *Tetranychidae* (arañas rojas), *Tarsonemidae* (araña blanca) o *Eriophyidae* (vasates). A continuación se hará una breve descripción de las principales plagas y de sus enemigos naturales.

## 4.1. Orden Hemiptera

### 4.1.1. Suborden Homoptera

#### 4.1.1.1. Familia Aleyrodidae

##### **Moscas blancas**

Aunque todas las especies de mosca blanca son fitófagas, de las más de mil quinientas descritas, solo dos constituyen un serio problema en las hortalizas cultivadas bajo plástico. Estas son *Bemisia tabaci* y *Trialeurodes vaporariorum*. No son solo importantes por los daños directos que causan en el cultivo, sino además por ser vectores de importantes virosis, como el virus de la cuchara (TYLCV) en tomate o el virus de las venas amarillas en cucurbitáceas (CVYV).

Tanto los adultos como las ninfas introducen su aparato bucal picador-chupador en el tejido vegetal y succionan sus jugos. Al no ser capaces de digerir el alto contenido de azúcares de la savia, lo expulsan en forma de gotas de melaza sobre la superficie de las hojas y frutos. Esta melaza es el sustrato perfecto para la instalación de hongos (*Cladosporium* spp.) sobre hojas y frutos reduciendo la capacidad fotosintética de la planta y la transpiración, depreciando el fruto. En cultivos ornamentales reduce el valor estético de la planta.

Se comercializan varias especies de auxiliares para el control biológico de la mosca blanca, entre los que se pueden encontrar tanto parasitoides como depredadores. Los protocolos de control biológicos en la mayoría de los cultivos se basan en el uso del ácaro depredador *Amblyseius swirskii* y del parasitoide *Eretmocerus mundus*, si se trata de *B. tabaci*; o *Encarsia Formosa* si se trata de *T. vaporariorum*. En aquellos cultivos en los que no hay una buena instalación de los ácaros depredadores se emplea algunas chinches de la familia Miridae como *Nesidiocoris tenuis* o *Macrolophus caliginosus*, cuyo empleo es controvertido por sus hábitos alimenticios omnívoros, por lo que a elevadas densidades de población y escasez de presa pueden ocasionar daños en las plantas.

#### 4.1.1.2. Familia Aphididae

##### **Pulgones**

Los pulgones son un grupo muy amplio que contienen muchas especies que provocan daños en las plantas cultivadas. Generalmente son especies polífagas con un amplio rango de plantas hospedantes. Entre las especies más frecuentes en los cultivos hortícolas destacan el pulgón verde del melocotone-ro *Myzus persicae* y el pulgón del algodón *Aphis gossypi*, aunque también son importantes pulgones de mayor tamaño como el pulgón verde de la patata *Macrosiphum euphorbiae* y *Aulacorthum solani*.

Los pulgones suelen aparecer en las épocas más cálidas en forma de focos que se dispersan con mucha rapidez, de ahí que sea fundamental la detección temprana de los mismos. Por ser homópteros, al igual que las moscas blancas, los daños ocasionados sobre las plantas son muy similares. También son transmisores de virus, como por ejemplo el virus del mosaico en el pepino (CMV) o el virus del mosaico amarillo del calabacín (ZYMV).

Los pulgones presentan un gran número de enemigos naturales, tanto parasitoides como depredadores, así como organismos entomopatógenos.

Todos los parasitoides que se emplean para el control biológico de pulgones en invernadero pertenecen a la familia Aphididae, destacando *Aphidius colemani*, y en menor medida *Lysiphlebus testaceipes*. Para las especies de pulgones más grandes se emplea *Aphidius ervi*.

Por otra parte los pulgones son presa de numerosos depredadores pertenecientes a distintos órdenes: Diptera, Neuroptera, Coleptera. Dentro de los dípteros, los pulgones pueden ser depredados por las larvas tanto de diversas especies de la familia Syrphidae (moscas halcón), como de la Familia Cecidomyidae (mosquitos cecidómidos). De igual modo, las larvas de muchos neurópteros (Familia Chrysopidae) son devoradores muy activos de pulgones. Dentro de los coleópteros, la familia de los Coccinellidos engloba a muchos géneros que se alimentan de pulgones, *Harmonia*, *Adalia*, *Coccinella*, *Scymnus*, etc. En su caso, no solo las larvas se alimentan de pulgones, sino también sus adultos.

## 4.2. Orden Thysanoptera

### 4.2.1. Familia Thripidae

#### **Trips**

Son muchas las especies de trips que pueden aparecer asociadas a los cultivos protegidos, pero la realidad es que son muy pocas las que causan la mayor parte de los daños. Casi de forma generalizada aparecen dos especies *Frankliniella occidentalis* y *Thrips tabaci*, no siendo esta última muy problemática. El trips de las flores, *F. occidentalis*, es muy polífago, principalmente se alimenta perforando las células de los tejidos vegetales, no obstante también puede actuar como depredador de huevos de araña roja. Su forma de alimentarse ocasiona daños directos que pueden depreciar el valor comercial de los frutos. Sin embargo el mayor peligro está en la transmisión del virus del bronceado (TSWV) en pimiento y tomate.

El control de esta plaga se basa en la instalación de trampas cromáticas que permitan su detección precoz y un trampeo masivo, y en la introducción de auxiliares depredadores. Comercialmente se dispone de varias especies de depredadores pertenecientes a grupos distintos. Por un lado se cuenta con ácaros depredadores del género *Amblyseius* y por otro se emplean distintas chinches (heterópteros), de las familias Anthocoridae y Miridae. Ambos grupos de depredadores, ácaros y chinches, presentan la ventaja de ser capaces de alimentarse a base de polen, por lo que son capaces de sobrevivir y reproducirse en el cultivo independientemente de la presencia de presa viva, permitiendo así el mantenimiento y el crecimiento de sus poblaciones a lo largo del ciclo de cultivo. En cuanto a los ácaros depredadores, el más empleado en los invernaderos es el *A. swirskii*, que devora eficazmente pequeñas larvas de trip. Es un ácaro muy móvil que busca su presa tanto en flores como en hojas. Al no alimentarse de adultos, el control del trip se complementa con la suelta de chinches depredadoras, como *Orius laevigatus* (Anthocoridae) o *Nesidiocoris tenuis* (Miridae), según el cultivo del que se trate.

### 4.3. Orden Diptera

#### 4.3.1. Familia Agromyzidae

##### **Minadores de las hojas**

Dentro de la familia Agromyzidae, el género *Liriomyza* recoge 23 especies que causan daños en distintos cultivos, y de estos, tan solo 5 especies, consideradas muy polífagas, causan daños de gran importancia económica. En el caso de los cultivos hortícolas protegidos destacan principalmente dos, *L. trifolii* y *L. bryoniae*. Tanto las picaduras realizadas por los adultos para alimentarse y para hacer la puesta, como las galerías producidas por las larvas cuando se alimentan, causan importantes daños en las plantas, que ven reducida su capacidad fotosintética considerablemente en casos de ataques fuertes de esta plaga. Según la especie y la planta huésped las galerías varían de forma, aunque suelen ser alargadas y tortuosas respetando la nerviación de las hojas.

El control biológico de los minadores se realiza principalmente con parasitoides debido a su eficacia. Aunque existe un buen número de parasitoides capaces de controlar esta plaga y que aparecen de forma espontánea dentro del invernadero, comercialmente se emplea *Diglyphus isaea* (Familia Eulophidae). Se trata de una avispa de pequeño tamaño, cuyo adulto se alimenta de melaza que encuentra en el cultivo. *Diglyphus* consigue el control del minador introduciendo sus huevos dentro de la galería junto a la larva del minador que le sirve de alimento durante su desarrollo. Aunque en menor medida, dentro del invernadero también hay depredadores eficaces en el control del minador. En este caso, el mírido *Nesidiocoris tenuis* se puede alimentar de larvas, mientras que el díptero conocido como mosca tigre (*Coenosia attenuata*) y que aparece espontáneamente se alimenta de adultos.

### 4.4. Orden Lepidoptera

#### 4.4.1. Familia Noctuidae

Numerosas especies de mariposas y polillas producen daños de distinta naturaleza en los cultivos bajo plástico, perteneciendo la mayoría a la familia Noctuidae. Se trata de mariposas nocturnas que en estado larvario se alimentan del cultivo causando graves pérdidas económicas. Generalmente se alimentan de hojas, tallos y fruto cortando trozos de planta con sus mandíbulas muy desarrolladas. Entre las especies de lepidópteros plaga más importantes

destacan principalmente *Spodoptera exigua* y *Helicoverpa armigera*. Otras especies que causan daños son *Chrysodeixis chalcites* y *Autographa gamma*.

Entre los agentes de control biológico de noctuidos plaga se pueden encontrar depredadores, parasitoides y organismos entomopatógenos, si bien ni depredadores, ni parasitoides ejercen un control suficiente. Muchos depredadores heterópteros pertenecientes a distintas familias (*Orius laevigatus*, *Nesidiocoris tenuis*, *Nabis pseudoferus*), así como neurópteros (*Chrysoperla carnea*) contribuyen a su control alimentándose de huevos y pequeñas orugas. Por otro lado, existen varias especies de parasitoides que pueden aparecer espontáneamente en invernaderos y ayudan al control de orugas, como son *Cotesia sp*, *Hyposoter didymator* o *Chelonus oculator*, entre otros. Además comercialmente se ha empleado discretamente especies del género *Trichogramma*.

En la actualidad se comercializan distintos organismos entomopatógenos. Por un lado existen diferentes formulados a base de *Bacillus thuringiensis*, bacteria que causa la muerte por enfermedad. Y por otro, también se comercializan preparados del Virus de la Poliedrosis Nuclear.

#### 4.4.2. Familia Gelechiidae

##### **Tuta absoluta**

Se hace especial mención a esta especie de microlepidóptero por tratarse de una plaga muy importante en el cultivo del tomate. *Tuta absoluta* fue encontrada por primera vez en España en el año 2007 y experimentó una rapidísima expansión, lo que la ha convertido en una de las plagas más importantes en este cultivo, si bien también puede afectar a otras solanáceas como la berenjena.

El daño principal se produce en hojas y brotes tiernos, aunque también puede afectar a frutos inmaduros al penetrar por el pedúnculo. Las galerías realizadas por las larvas de *Tuta* son muy distintas a las realizadas por *Liriomyza sp*. En las hojas las orugas consumen todo el mesófilo respetando solo la epidermis foliar, esta manera de alimentarse produce unas galerías anchas y de recorrido indiferenciado que acaban necrosándose.

En España *N. tenuis* es un buen depredador de *Tuta*, no obstante para llevar un control biológico óptimo es necesario optimizar las estrategias para un establecimiento rápido de este chinche. Actualmente las sueltas en semillero están resultando muy exitosas en este sentido. Existen también algunos

parasitoides capaces de parasitar huevos de *Tuta*, es el caso de *Trichogamma* sp. si bien su uso comercial no está aún muy extendido.

#### 4.5. Clase arachnida

##### 4.5.1. Subclase acari(na)

##### 4.5.1.1. Orden Acariformes

##### 4.5.1.1.1. Familia Tetranychidae

###### **Araña roja**

Los ácaros del género *Tetranychus* son conocidos como arañas rojas y constituyen una de las plagas más importantes en los cultivos hortícolas españoles, donde se puede encontrar principalmente cuatro especies: *T. urticae*, *T. turkestanii*, *T. ludeni* y *T. evansi*. Estas arañas poseen un par de quelíceros que utilizan para alimentarse de los tejidos superficiales de las plantas. Al succionar los jugos celulares provoca manchas amarillas y deformaciones disminuyendo la capacidad fotosintética de la hoja. Cuando la colonia es muy grande se pueden ver las telas formadas por hilos de seda cubriendo partes enteras de la planta.

Para el control de la araña roja se emplean comúnmente depredadores, entre los que se encuentran ácaros fitoseidos como *Phytoseiulus persimilis* que es el más utilizado, aunque también se pueden encontrar *Amblyseius californicus*, y el mosquito cecidómido *Feltiella acarisuga*, si bien estos dos últimos no están incluidos en los programas de suelta en invernadero.

##### 4.5.1.1.2. Familia Tarsonemidae

###### **Araña blanca**

La araña blanca, *Polyphagotarsonemus latus*, es un ácaro polífago que ataca generalmente a los órganos jóvenes de la planta, localizándose generalmente en el envés de las hojas. El borde de las hojas se vuelve rígido y se deforman a consecuencia de su actividad alimenticia. Principalmente afecta al pimiento, aunque también puede aparecer en pepino, berenjena y sandía. Para el control biológico de la araña blanca se pueden utilizar ácaros fitoseidos depredadores como *Amblyseius swirskii*, *A. californicus* y *A. cucumeris* que ejercen un buen control y se pueden introducir en el cultivo de forma preventiva.

## 5. Manejo del control biológico en invernadero

Poner en marcha un programa de control biológico en invernadero requiere un conocimiento mayor por parte del agricultor que el que exige el control de plagas tradicional. Para el estudio de las variables que afectan a la incidencia de plagas y enfermedades, es necesario considerar el invernadero como un sistema del que forman parte el cultivo, las poblaciones de los diferentes especies plagas que la afectan y la fauna auxiliar ligada a ellos. Y tener en cuenta que sobre el equilibrio de dicho ecosistema interaccionan diferentes factores propios de este, tales como la configuración del cerramiento que lo define (hermeticidad, características de los materiales), el equipamiento instalado en el mismo (calefacción, refrigeración, CO<sub>2</sub>) o de la gestión realizada de dicho sistema. En definitiva, la tecnología empleada en el invernadero y su gestión afectan de un modo determinante a todos y cada uno de los componentes vivos del invernadero: plantas, plagas y fauna auxiliar, y determinarán la intensidad de la problemática fitosanitaria o el éxito en su resolución para cada invernadero. La evaluación de las interacciones de los factores mencionados con el comportamiento de las poblaciones de la plagas y de la fauna auxiliar debe aportar información útil para asegurar el éxito en la incorporación de la lucha biológica en el control de plagas.

El éxito o el fallo del control biológico van a depender de muchos factores como son los ritmos de suelta, los momentos y los lugares más adecuados para hacer las sueltas, así como qué productos fitosanitarios son compatibles con estos auxiliares. Para determinar cuál es el momento idóneo para realizar las sueltas es necesario un seguimiento riguroso. Es también necesario conocer el ciclo de vida de estos organismos beneficiosos para poder determinar la frecuencia de suelta y mantener sus poblaciones por más tiempo. El cultivo es un elemento primordial en toda estrategia de control de plagas. Su estado fitosanitario va a depender de las prácticas culturales a que esté sometido (riego, fertilización, destallados, podas, etc.) y, a su vez, estas influirán decisivamente en la gestión de las poblaciones de la fauna auxiliar introducida en el invernadero. Por ello es necesario sincronizar la programación de las medidas culturales (podas, destallados...) con las sueltas de fauna auxiliar para impedir que estas tareas interfieran durante el proceso de instalación de los enemigos naturales. Así, las labores culturales de poda deben realizarse siempre que sea posible antes de cada liberación de enemigos naturales y no volver a realizarlas en dos semanas tras la suelta. La eficacia en el control biológico de plagas está, pues,

estrechamente interrelacionada con las características del invernadero, con su equipamiento y con el manejo que se realice de la estructura, los equipos, el cultivo o los agentes biológicos beneficiosos. Un mejor conocimiento de todas estas interrelaciones, redundará en mayor eficacia y eficiencia del control integrado de plagas y enfermedades en los cultivos hortícolas de invernadero. Y a ello deberán dedicarse los esfuerzos de investigación necesarios con el fin de optimizar y consolidar este importante avance técnico en el futuro.

## **6. Desarrollo de una estrategia de control biológico por conservación en el marco de la horticultura intensiva del sureste español**

Teniendo en cuenta la relevancia que el control biológico está teniendo en la competitividad e imagen en el sector agroalimentario de cara a mercados externos, es fundamental implementar el control biológico de plagas para seguir dando cobertura al desarrollo sostenible de la horticultura intensiva. En este contexto, se ha decidido hacer una clara apuesta y crear una nueva línea de investigación dedicada al control biológico por conservación. La idea es contribuir al desarrollo de una agricultura más sostenible desde otro punto de vista, el agroecológico, no explorado hasta ahora en este tipo de agricultura tan intensiva. Así, la lucha biológica por «conservación» emerge como un componente indispensable para el desarrollo sostenible de los cultivos hortícolas intensivos.

En la agricultura al aire libre se ha demostrado que el control biológico puede verse favorecido mediante un manejo adecuado del hábitat. Se puede incrementar la presencia de enemigos naturales cuando estos disponen de los recursos alimenticios que la vegetación les ofrece. Es un hecho que el control biológico de plagas se ve negativamente afectado por el aislamiento y la pérdida de hábitats seminaturales, que reducen la biodiversidad en los paisajes agrícolas. Esto es así en cualquier zona agrícola donde predominan hectáreas y hectáreas de una misma especie, ya sean naranjos, nísperos, caquis, algodón, brócolis o invernaderos. Es conocido el importante papel que tienen los setos vivos, cortavientos o bosques adyacentes a los cultivos en las zonas agrícolas, ya que se puede incrementar la presencia de enemigos naturales. El control biológico por conservación, con el empleo de plantas autóctonas, totalmente adaptadas a nuestras condiciones de clima y suelo, puede aplicarse en el arco mediterráneo. En aquellas zonas agrícolas fuertemente alteradas, siendo

el poniente almeriense su máximo exponente, las plantas autóctonas perennes proveen, además de néctar y polen, cobijo y un microclima moderado que contribuye a mejorar la efectividad de los enemigos naturales. El potencial para el control de las plagas mediante la fauna auxiliar debe, por tanto, relacionarse con nuestra habilidad para ejercer algún tipo de control sobre el hábitat cercano a las zonas de producción. Por tanto, nuestro objetivo principal es la selección de especies vegetales autóctonas, que serán posteriormente utilizadas mediante técnicas de xerojardinería con el fin de mejorar el paisaje, aumentar la biodiversidad y disminuir la presión de plagas en zonas de gran desarrollo de la horticultura intensiva y con un mínimo manejo para el agricultor. Se prevé que estas actuaciones tendrán un efecto beneficioso sobre la dinámica poblacional de los enemigos naturales de las plagas, reduciendo así la presión de los mismos sobre los cultivos.

A finales de 2010, en la Estación Experimental de Cajamar ‘Las Palmerillas’, se estableció un bosque-isla con unas 900 plantas de 29 especies diferentes, pertenecientes a 18 familias botánicas, seleccionadas a partir de un análisis multicriterio y que actualmente es objeto de estudio. Los criterios más importantes, tenidos en cuenta para la selección de las plantas, fueron aquellos relacionados con los recursos específicos que las plantas ofrecen a los diferentes grupos de insectos beneficiosos (alimento, refugio o lugares de apareamiento). Además se tuvo en cuenta la diferente arquitectura de las plantas, su porte, disponibilidad en viveros forestales y su grado de protección, la facilidad de su manejo, así como si estas plantas están citadas como posibles reservorios de virus. En dicho bosque-isla las plantas están agrupadas tal y como ellas se asocian en la naturaleza para poder representar una mancha de vegetación natural (Rodríguez *et al.*, 2012).

Una vez que las plantas han alcanzado un porte adecuado, se está procediendo al muestreo de la artropodofauna asociada a estas especies, mensualmente desde mayo de 2012. Las muestras obtenidas se están procesando en laboratorio, con el fin de identificar los artrópodos presentes en cada planta, establecer sus dinámicas de poblaciones a lo largo del año y entender su papel en este ecosistema. Igualmente se está realizando el seguimiento de la floración de cada una de las especies una vez por semana, para conocer qué recursos florales están disponibles en cada momento, lo que permitirá conocer cuáles son los recursos que hacen que estas plantas sean atractivas para estos insectos (periodos de floración, morfología de las flores, presencia de nectarios extraflorales, etc.).

En definitiva, esta parcela experimental servirá para describir la dinámica de artrópodos beneficiosos asociadas a estas especies y poder decidir cuáles de ellas son las más adecuadas para su empleo en la restauración del paisaje. En un futuro seremos capaces de diseñar estas infraestructuras ecológicas adaptadas a la diferente disponibilidad de espacio entre los invernaderos.

Se espera que estas actuaciones tengan un efecto beneficioso sobre la dinámica poblacional de los enemigos naturales de las plagas, reduciendo así la presión de los mismos sobre los cultivos. La idea es diseñar setos a la carta.

## Referencia bibliográficas

- ALTIERI, M. A. y LETOURNEAU, D. K. (1982): «Vegetation management and biological control in agroecosystems»; *Crop Protection* (1); pp. 405-430.
- APARICIO SALMERÓN, V.; RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ, M. P.; CABRERA CORRAL, F. J.; ACEBEDO VAZ, M.; GARCÍA MARÍN, A. B.; TRUJILLO GIMÉNEZ, M. E. y MÉNDEZ GARCÍA, C. M. (2010): «Producción integrada en Andalucía: cultivos hortícolas protegidos»; en TELLO MARQUÍNA, J. C. y CAMACHO FERRE, F., coord.: *Organismos para el control de patógenos en los cultivos protegidos. Prácticas culturales para una agricultura sostenible*. Almería, Cajamar; pp. 15-44.
- CABALLERO, P. y MURILLO, J. (2003): *Protección de cultivos. Conceptos actuales y fuentes de información*. Pamplona, Universidad Pública de Navarra; pp. 132.
- CARRERO, J. M. (1996): *Lucha integrada contra plagas agrícolas y forestales*. Madrid, Mundi-Prensa; pp. 256.
- COEXPHAL (2009): *Control biológico en invernaderos hortícolas*; pp. 178.
- COSCOLLÁ, R.: *Introducción a la Producción Integrada*. Valencia, ed. Phytoma; pp. 356.
- FUNDACIÓN CAJAMAR (2010): «Perspectivas del control biológico en agricultura bajo plástico»; *Cuadernos de Estudios Agroalimentarios-CEA* (1). Almería, Fundación Cajamar; pp. 122.
- JACAS, J. A. y URBANEJA, A., eds. (2008): *Control biológico de plagas agrícolas*. Valencia, Phytoma-España; pp. 496.

- JACAS, J. A. y URBANEJA, A. (2009): «Origen de las plagas e historia del control biológico»; en JACAS, J. A. y URBANEJA, A., coord.: *Control biológico de plagas agrícolas*. España, Phytoma; pp. 3-14.
- KOPPERT B. V. (1992): «Las plagas de los cultivos protegidos y sus enemigos naturales»; *Conocer y reconocer*; pp. 288.
- MALAIS, M. y RAVENSBERG, W. J. (1995): *Conocer y reconocer. La biología de las plagas de invernadero y sus enemigos naturales*. Rotterdam, Koppert BV.; pp. 109.
- NAVARRO, M.; ACEBEDO, M. A.; RODRÍGUEZ, M. P.; ALCÁZAR, M. D. y BELDA, J. E. (2004): *Organismos para el control biológico de plagas en cultivos de la provincia de Almería*. Almería, Cajamar; pp. 231.
- ROBLEDÓ CAMACHO, A.; VAN DER BLOM, J.; SÁNCHEZ MARTÍNEZ, J. A. y TORRES GIMÉNEZ, S. (2009): *Control biológico en invernaderos hortícolas*. Almería, Coexphal; pp. 176.
- RODRÍGUEZ-NAVARRO, E.; VAN DER BLOM, J.; GONZÁLEZ-FERNÁNDEZ, M. y JANSSEN, D. (2014): «Plant viruses and native vegetation in Mediterranean greenhouse areas»; *Scientia Horticulturae* (165); pp. 171-174.
- RODRÍGUEZ-NAVARRO, E.; SCHWARZER, V.; VAN DER BLOM, J. y GONZÁLEZ-FERNÁNDEZ, M. (2012): «The selection of insectary plants for landscaping in greenhouse areas of Se Spain»; *IOBC/wprs Bulletin* (75); pp. 73-76.
- URBANEJA, A. y JACAS, J.A. (2009): «Tipos de control biológico y métodos para su implementación»; en JACAS, J. A. y URBANEJA, A., coord.: *Control biológico de plagas agrícolas*. España, ed. Phytoma; pp. 15-44.
- SELFA, J. (2002): *Control biológico de plagas. Reconocimiento y manejo de parásitos, predadores y patógenos*. Teruel, Universidad de Teruel.
- TELLO MARQUINA, J. C. y CAMACHO FERRE, F. (2010): «Organismos para el control de patógenos en los cultivos protegidos. Prácticas culturales para una agricultura sostenible»; *Colección Agricultura* (9). Fundación Cajamar; pp. 528.
- VAN DER BLOM, J. (2010): «Applied entomology in Spanish greenhouse horticulture»; *Proc. Neth. Entomol. Soc. Meet.* (21); pp. 9-17.



# Buenas prácticas agrícolas en invernadero: claves del éxito de la gestión integrada de plagas

*Juan Carlos Gázquez Garrido*

Estación Experimental de Cajamar 'Las Palmerillas'

## 1. Introducción

En los últimos años se ha puesto de manifiesto una preocupación cada vez más creciente por el consumo de productos de mayor calidad, libres de residuos y con un menor impacto sobre el medioambiente. Como respuesta a la demanda de calidad y seguridad alimentaria es necesario proponer un cambio de estrategia sustentada en el control biológico.

La integración de los métodos de protección de los cultivos y la protección medioambiental, ha dado lugar a un incremento del uso de técnicas de cultivo que tratan de minimizar el uso de sustancias químicas de síntesis, a favor de otros métodos de control fitosanitarios más respetuosos con la salud. Entre estos métodos destacan el control biológico que tratan de controlar los enemigos de los cultivos con organismos vivos que se alimentan de estos o los destruyen.

La gestión integral de plagas conlleva el uso combinado de todos los métodos de control disponibles, teniendo en cuenta los niveles de poblaciones parasitarias, la fauna útil y el impacto ambiental.

Hay cuatro puntos clave para tener éxito en un programa de gestión integrada de plagas en invernadero: la prevención, el seguimiento, un buen manejo de los enemigos naturales y la utilización del control químico de forma racional y compatible con los enemigos naturales.

## 2. Prevención-medidas culturales

Hace falta emprender una profunda revisión de todo el sistema de cultivo, incluyendo la estructura del invernadero y el manejo del cultivo, para facilitar la actuación y la reproducción de la fauna auxiliar que se ha de emplear y respetar.

Para realizar el control biológico se hace necesaria la aplicación de una serie de medidas culturales como:

- Hermeticidad del invernadero.
- Uso de malla antiinsecto de 10 x 20 hilos  $\text{cm}^{-1}$  tanto en las ventanas laterales como en las cenitales.
- Acolchado del suelo: consiste en cubrir el terreno con una lámina de plástico (negro, transparente u otro tipo), que evite el contacto directo de la planta y los frutos con la humedad del suelo. De esta forma se consigue controlar la aparición de enfermedades. En el caso del plástico negro se controla también la aparición de malas hierbas.
- Vestíbulos de entrada y dobles puertas.
- Aplicar espolvoreos de azufre.
- Utilizar plantas sanas y libres de plaga, con el pasaporte fitosanitario correspondiente.
- Eliminación de malas hierbas y restos vegetales.
- Comenzar limpio de residuos. Para ello hay que evitar tratamientos con productos residuales en cultivos anteriores.
- Colocación de bandejas de desinfección en los vestíbulos de los invernaderos.

Colocación de trampas cromotrópicas: estas trampas son mecanismos que sirven para atraer y capturar insectos y están formadas por una lámina de plástico de diferentes colores untadas con una capa de pegamento. Los insectos se ven atraídos por el color, quedando pegados a la trampa. Sin embargo, también hay que tener en cuenta que si tenemos fauna auxiliar esta se puede pegar y reducir sus poblaciones en los invernaderos, tal sería el caso del *Orius* o de los parasitoides, entre otros.

Tipos:

- Amarillas: formadas por láminas de plástico de color amarillo. Los insectos (especialmente los pulgones, la mosca blanca y el minador) son atraídos por dicho color, quedando pegados en la trampa.
- Azules: son iguales que las anteriores, pero en este caso el color azul atrae especialmente a los trips.

**Figura 1. Detalle de una doble puerta y de la colocación de placas cromotrópicas en la misma**

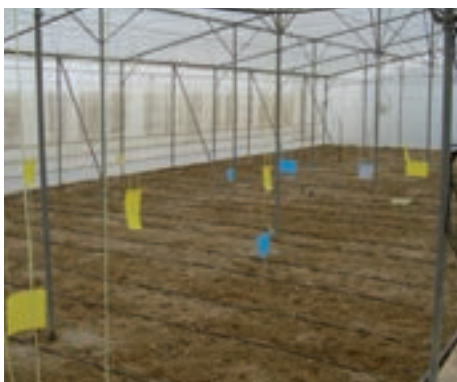


**Figura 2. Detalle de una bandeja de desinfección**

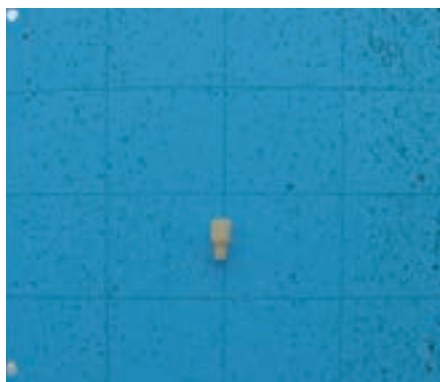


Cuando se implanta un cultivo tras otro en un breve periodo de tiempo, hay que evitar que las plagas del anterior pasen al siguiente. Plagas como trips (*Frankliniella occidentalis*) y minador (*Lyriomyza spp.*) realizan parte de su ciclo en el suelo y por ello continúan emergiendo durante varias semanas tras la eliminación del cultivo anterior. En estos cambios de cultivo las trampas cromáticas adhesivas azules han demostrado ser muy eficaces contra trips, al igual que las trampas amarillas contra mosca blanca y minador.

**Figura 3. Detalle de la colocación de trampas cromotrópicas entre cultivos**



**Figura 4. Placa cromotrópica azul con un feromona para el trips**



### 3. Seguimiento del cultivo

Para el estudio de las variables internas que afectan a la incidencia de plagas y enfermedades, es necesario considerar el invernadero como un ecosistema del que forman parte: la planta, las poblaciones de los diferentes fitoparásitos que la afectan y la fauna auxiliar ligada a ellos. Pero sobre el equilibrio de dicho ecosistema actúan una serie de factores propios de éste, que harán que la problemática fitosanitaria sea más o menos grave e intensa en un momento u otro, y en unos u otros cultivos.

El control racional de plagas y enfermedades, tanto dentro de programas de lucha integrada como en su empleo *per se*, se apoya en un proceso de toma de decisión. Dicho proceso comprende una serie de herramientas como son: técnicas de muestreo, umbrales de intervención, métodos de lucha y su aplicación.

Conocer la evolución de las poblaciones de plagas, enemigos naturales y enfermedades es imprescindible para llevar a cabo un manejo de control de plagas en cualquier cultivo. Para realizar un buen monitoreo, el primer paso es hablar con el agricultor, que es quien mejor conoce el historial de la explotación, localización y evolución de las plagas. Por ello el grado de implicación del productor es uno de los factores determinantes para ejercer un control adecuado de las plagas y enfermedades. Después hay que entrar a la parcela y cuantificar el nivel de plagas, enfermedades y enemigos naturales.

Debemos tener un estadillo de conteo de plagas sencillo pero eficaz que permita realizar el seguimiento de forma rápida pero exhaustiva, detectando posibles focos de araña blanca, araña roja, pulgón o vasates. Una técnica de muestreo sencilla es la basada en porcentaje de presencia de plagas y de los enemigos naturales. Consiste en contar 25 flores y 25 hojas anotando presencia o ausencia de trips y *Orius* en flor, y mosca blanca y *Amblyseius swirskii* en hoja.

Existen productos muy útiles para el muestreo y captura de plagas, especialmente dentro de Programas de Manejo Integrado de Plagas/Cultivo (IPM/ICM), como por ejemplo las placas cromotrópicas que permiten detectar la entrada de especies plaga del exterior o el aumento de las poblaciones dentro del invernadero. Las placas cromotrópicas son una herramienta esencial para hacer el seguimiento de la evolución de las plagas en invernaderos/parcelas de cualquier cultivo y así poder ajustar mejor el momento adecuado para las intervenciones fitosanitarias y/o la introducción de organismos auxiliares. Las placas de captura se utilizarán a razón de 5-10 por cada 1.000 m<sup>2</sup>, localizándo-

se principalmente bajo las aperturas de ventilación y en las bandas, y de forma general, donde el riesgo de invasiones de insectos plaga sea mayor.

Existen trampas cromotrópicas (muestreos) diseñadas especialmente para llevar a cabo los muestreos ya que vienen provistas de un papel de protección adherido a las mismas y dividido en 5 bandas que se retiran por separado (Figura 5). Las placas cromotrópicas utilizadas para muestreo se colocan a razón de 2-3 placas de cada color por parcela o invernadero, en las zonas de mayor riesgo de entrada de plagas. Semanalmente, o con la frecuencia que se estime oportuna, se retirará una de las bandas de papel adheridas a la placa, para observar la evolución de las capturas de forma periódica.

Por otra parte, en los invernaderos la colocación de placas o rollos engomados amarillos o azules, al principio del cultivo en una densidad suficiente, constituye un complemento muy importante (barrera física) a los tratamientos fitosanitarios y organismos beneficiosos, contribuyendo también a la reducción de la incidencia de virus transmitidos por insectos en aquellos cultivos susceptibles. Se recomienda la colocación de los rollos engomados de captura en la banda de los invernaderos, a la altura de las ventilaciones laterales, así como debajo de las ventilaciones cenitales.

**Figura 5. Vista de las trampas cromotrópicas de captura masiva**



**Figura 6. Trampas cromotrópicas de muestreo**



La utilización de las trampas de feromonas para detectar los primeros vuelos de noctuidos son un elemento también esencial, constituyen una herramienta fundamental para decidir el momento y el producto fitosanitario más adecuado, combinando el uso de la feromona sexual con trampas adhesivas o con insecticida en cebo se consigue capturar a los insectos de una determinada especie.

Las feromonas sexuales son sustancias químicas elaboradas por los insectos (generalmente hembras) para atraer a los individuos de la misma especie (machos) para el apareamiento. La atracción se produce al captar el macho la señal química con sus antenas. Se utilizan como método de lucha y para monitorización. Los métodos de lucha pueden ser de dos tipos: a) conseguir una confusión sexual, se realiza una liberación masiva de feromonas, saturando el ambiente con la idea de confundir a los machos en el momento de la búsqueda para apareamiento; b) efectuar una captura masiva: se coloca el suficiente número de trampas con feromona como para que al disminuir los machos disminuya la fertilidad global de la población y la intensidad del ataque al disminuir el número total de individuos. La monitorización consiste en la colocación de 1, 2 o 3 trampas con feromona y así detectar el inicio de la actividad sexual en los machos; esas trampas pueden ser de tipo delta con placa engomada o polilleros con agua o pastilla de insecticida (deltametrina y lambdacihalothrina).

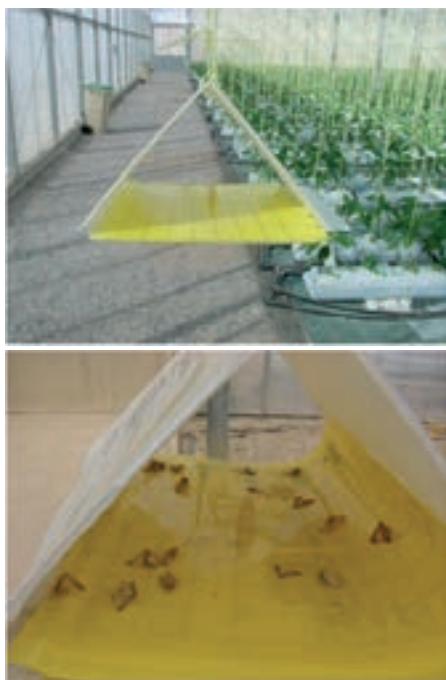
En el mercado existen distintos tipos de trampas de feromonas dependiendo del tamaño de la especie a capturar: a) Trampas DELTA: para polillas de pequeño tamaño (Figura 7) y b) Polillero-Mosquero: se puede usar tanto para captura de polillas de mayor tamaño (*Spodoptera*, *Heliothis*,...) como de dípteros (*Dacus oleae*, *Ceratitis capitata*...) (Figura 8).

Las feromonas se utilizan principalmente para detectar vuelos y seguir la evolución de polillas y moscas en invernaderos y parcelas al aire libre.

Las capturas de las trampas se cuantifican y se obtiene la evolución de las poblaciones de adultos de los insectos (curvas de vuelo). La evolución de las capturas se debe relacionar con la detección de los distintos estados evolutivos del insecto en el cultivo.

- Número recomendado de trampas:  
para monitoreo: 3-5 trampas por feromona y parcela.
- Distancia mínima entre trampas:  
trampas de la misma especie: 50 metros.  
trampas de distinta especie: 100 metros.
- Duración de la feromona: 6 semanas.

**Figura 7. Trampas de feromonas (Delta) para la captura de lepidópteros**



**Figura 8. Trampas de feromonas (Polellero - mosquero) para la captura de lepidópteros**



Aunque para atrapar masivamente mariposas de lepidópteros nocturnos las que realmente funcionan sin tener que distinguir entre sexos o especies son las trampas de luz ultravioleta, también son muy indicadas para el control de *Tuta absoluta*. Es importante tener la precaución de colocarlas en el exterior del invernadero para impedir que sirvan de atrayentes (Figura 9 y 10). Otra opción es ubicarlas dentro pero hay que protegerlas muy bien para impedir dicho efecto.

Está disponible comercialmente una feromona sexual de *Frankliniella occidentalis*, que contiene una versión sintética de la feromona sexual de agregación de esta plaga. La feromona natural es producida por los machos de *F. occidentalis* y atrae tanto a machos como a hembras para su apareamiento. Se puede utilizar en cualquier cultivo sensible a *Frankliniella occidentalis* para detecciones precoces de la plaga o para mejorar la sensibilidad de las placas de monitoreo para trips, particularmente en condiciones de niveles bajos de infestación o en cultivos que sufren daños de trips fácilmente.

Se deben colgar a 30-50 cm por encima del cultivo. Se colocarán al tresbolillo, dejando 8-10 metros entre una y otra. Así mismo, se dejará una distancia desde la banda de unos 5 metros. Cada emisor se pega directamente sobre una placa azul de captura en la parte central de la misma. Para un correcto monitoreo, utilizar 100 feromonas/ha. La duración de la feromona una vez colocada, es de 4-6 semanas, dependiendo de las condiciones ambientales.

**Figura 9. Vista de la trampa de luz ultravioleta**



**Figura 10. Detalle de las capturas de adultos de lepidópteros en la trampa de luz ultravioleta**



Una vez realizado el muestreo hay que tomar decisiones, evaluar el nivel de daños, analizar su posible evolución y si se supera el umbral económico, decidir si se realiza algún tratamiento o no, qué prácticas culturales nos pueden ayudar si se realizan sueltas, como se realizan y a qué dosis.

#### **4. Buen manejo del cultivo y de los enemigos naturales**

En todo programa de manejo integrado de plagas (IPM o ICM) es necesario integrar todas las técnicas compatibles entre sí que permitan disminuir el nivel de los insectos plaga: medidas culturales, tratamientos con productos compatibles, sueltas de enemigos naturales, operaciones de cultivo, etc.

Hay que mejorar el control del clima con el objetivo de eliminar los valores extremos de temperatura y humedad relativa. Factores que actualmente restringen notablemente la adaptación y capacidad de reproducción de muchas especies de enemigos naturales.

El cultivo es un elemento primordial en toda estrategia de control de plagas. El estado fitosanitario de un cultivo va a depender de las prácticas culturales a que esté sometido (riego, fertilización, podas, etc.). Hay que sin-

cronizar la programación de las medidas culturales (podas, destellados...) con las sueltas de fauna auxiliar para impedir que estas tareas interfieran durante el proceso de instalación de los enemigos naturales.

Muchas especies, sobre todo ácaros y chinches depredadores, dependen para su reproducción del polen que producen las flores. Por lo tanto, es necesario seleccionar las variedades mejor adaptadas al control biológico, hay que procurar que la floración del cultivo de pimiento se mantenga estable durante todo el ciclo del cultivo, lo que puede implicar un cambio en la poda de las plantas, cambios en el abonado para producir plantas más vegetativas y también en la forma de cosechar, escalonado más las recolecciones, esto se consigue recolectando frutos en verde en algunos momentos.

## **5. Recomendaciones a seguir para realizar un programa de control biológico**

En los programas de manejo integrado de plagas se utilizan todos los métodos de control de plagas de que se dispone, además de los biológicos. En este sentido, los métodos preventivos y métodos físicos adquieren gran importancia.

### *5.1. Antes de la plantación*

Existen numerosas actuaciones a realizar antes de la implantación del cultivo, que permitirán disminuir y controlar la actuación de los patógenos. Entre estas medidas destacan:

- Labores de preparación del suelo, como nivelado y subsolado en caso de problemas de encharcamiento, pases de escarificador, rotovátor, etc.
- Utilización de estiércol adecuado, bien fermentado y con conocimiento de su origen.
- Realización de injertos sobre patrones resistentes.
- Eliminación de restos vegetales anteriores al nuevo cultivo.
- Desinfección de herramientas y embalajes, como bandejas, cajas, etc.
- En el caso de cultivo sin suelo o en semilleros, utilización de substratos con garantías sanitarias.
- Siempre que sea necesario realizar la desinfección del suelo mediante la solarización durante 40 días.

- Mantener un periodo previo a la plantación mínimo de 15 días.
- Deben cumplirse los requisitos obligatorios y los recomendados recogidos en la Orden de 10 de octubre de 2007 por la que se establecen las medidas de control obligatorias, así como las recomendadas en la lucha contra las enfermedades víricas en los cultivos hortícolas.
- Emplear plántulas procedentes de semilleros autorizados y es necesario conservar, durante un año el Pasaporte Fitosanitario de las plántulas de hortícolas que adquieran. Poner especial atención en controlar y registrar los tratamientos en el semillero (salvo en caso de hacer siembra directa).
- Revisar las condiciones de los invernaderos para en su caso tapar posibles roturas en el plástico, utilizar mallas antiinsecto ( $10 \times 20 \text{ cm}^{-1}$ ) y poner doble puerta.
- Adecuada estructura de los invernaderos tal que permita un óptimo control climático.
- Instalaciones de riego apropiadas a las necesidades de la explotación y que faciliten el manejo y mantenimiento.
- En el caso de tener balsas, mantenerlas cubiertas para impedir la transmisión de patógenos a través del agua de riego.
- No aplicar ningún tipo de espolvoreo con productos químicos (salvo azufre).
- Realizar limpieza de las malas hierbas dentro y fuera del invernadero.
- Colocar una bandeja de desinfección a la entrada del invernadero.
- Limpieza de las mallas con agua a presión para eliminar la acumulación de tierra, araña roja y araña blanca.
- Realizar un espolvoreo con azufre ( $20\text{--}40 \text{ kg ha}^{-1}$ ) al suelo y la estructura.
- Emplear granulados en el suelo para el control de hormigas, coleópteros, grillos, etc.
- Colocar trampas cromotrópicas de captura y detección de insectos, rodeando el perímetro interior del invernadero y si ha habido un cultivo anterior por toda la superficie, 50 amarillas y 50 azules por hectárea y dar posteriormente un riego abundante. También pueden utilizarse los rollos adhesivos amarillos en las bandas y puertas.

- Limpieza exhaustiva del equipo de tratamientos. El sistema fijo de tratamientos debe limpiarse con lejía, jabón y mojanete, así como las gomas y las tuberías que se vayan a utilizar. El líquido sobrante debemos tirarlo fuera del invernadero. También debemos limpiar bien la cuba y las mangueras. Si se da el caso de tener cultivos con control químico y biológico en la misma explotación, sería conveniente utilizar equipos de tratamiento independientes.
- A veces puede ser interesante conservar los enemigos naturales de un cultivo para el siguiente.

## *5.2. Durante el cultivo*

Entre las medidas culturales a realizar durante el cultivo cabe destacar:

- Eliminación de malas hierbas que puedan competir con el cultivo.
- Eliminación y/o picado de restos vegetales procedentes de podas, destallados, etc. que pudieran suponer fuente de infección o infestación.
- Realización correcta de los riegos, donde la frecuencia y la dosis dependerán del tipo de suelo, clima, cultivo, etc., tratando de evitar especialmente cualquier problema de encharcamiento.
- Aportación equilibrada del abonado, evitando el exceso o carencia de algún elemento que favorezca la aparición de enfermedades o plagas. Por ejemplo, un exceso de abonado nitrogenado aumentaría la susceptibilidad de la planta al ataque de patógenos.
- Realización de podas, destallados y deshojados que permitan la adecuada formación y el equilibrio de los órganos de la planta, para facilitar el control de los patógenos. Hay que evitar que se produzcan grandes heridas, así como mejorar la ventilación y facilitar la penetración de los plaguicidas cuando se realicen los tratamientos fitosanitarios.
- Eliminación de los órganos y las plantas afectadas por plagas y enfermedades cuando se encuentren severamente atacadas. En caso contrario, se convertirán en fuentes de infección.
- Mantenimiento del cultivo sano hasta el final de campaña para evitar que se convierta en reservorio de patógenos.

- Desinfección frecuente de las herramientas que se utilicen a lo largo del cultivo (tijeras, navajas, etc.), eliminando así la posibilidad de futuros contagios.
- Manejo adecuado de los invernaderos de modo que no se produzcan las condiciones óptimas para el desarrollo de determinados patógenos.

### *5.3. Desde la plantación al inicio de las sueltas*

Realizar un análisis multiresíduos 2 semanas antes de la primera suelta, para despejar cualquier duda acerca de la existencia de algún residuo que pueda afectar a los enemigos naturales.

Tener en cuenta los productos químicos y el plazo de seguridad para la suelta de insectos beneficiosos. No utilizar materias activas residuales como pirretrinas, malathión, imidacloprid, cipermetrina, procimidona, etc., por tanto no utilizar ningún producto que supere las 2-3 semanas de plazo de seguridad.

Colocar placas cromotrópicas adhesivas amarillas y azules de monitoreo.

Eliminar las placas cromotrópicas adhesivas amarillas y azules si se pueden quedar adheridos a ellas los enemigos naturales a liberar en el cultivo.

Realizar muestreos semanales para poder estimar la presencia de plagas (Figura 11).

Utilizar clips marcadores de colores para advertir la presencia de plagas dentro del invernadero, muy útiles para localizar los focos de araña y pulgón (Figura 12).

**Figura 11. Detalle del muestreo de plagas y enfermedades**



**Figura 12. Detalle de la señalización de un foco de araña roja**



#### *5.4. Control químico racional y compatible con el control biológico*

Para realizar la introducción de fauna auxiliar es necesario tener en cuenta la presión de plagas y enfermedades, los tratamientos fitosanitarios realizados para garantizar la ausencia de residuos y por último el estado fenológico del cultivo y las prácticas culturales realizadas.

Una vez realizada la primera introducción de auxiliares, solamente se podrán utilizar productos compatibles con los auxiliares.

Las sueltas de auxiliares deben hacerse siempre a última hora de la tarde.

En caso de que sea necesario realizar algún tratamiento fitosanitario, consultar los efectos secundarios sobre enemigos naturales.

Tratar preferentemente solo por focos, empleando el método más adecuado para aumentar la eficacia y así poder reducir el número de éstos. Emplear el mejor método de aplicación de tratamientos para aumentar la eficacia y a la vez reducir el número de estos.

Cerrar las ventilaciones cuando se estén tratando los invernaderos o cultivos colindantes para evitar la entrada de derivas de productos químicos al invernadero de control biológico.

Es importante mantener una humedad relativa alta (> 60 %), porque favorece la instalación de los auxiliares.

Los plaguicidas son sustancias químicas que se emplean para combatir los agentes causantes de plagas y enfermedades de los cultivos, con el objetivo de conseguir una producción elevada en cantidad y calidad.

En la actualidad existe en el mercado un gran número de plaguicidas específicos para cada grupo de agentes nocivos, insectos, bacterias, ácaros, etc. La presentación comercial de estos productos es muy variada en cuanto a la forma física (sólidos, líquidos y gases) y a la forma de aplicación en campo. Además, el comportamiento sobre el cultivo en el que se utilicen, la forma de actuar sobre los parásitos, la toxicidad sobre personas, animales o sobre el propio cultivo, y los residuos que generan, varían mucho según el tipo de plaguicida que se aplique.

Es muy importante que las personas que trabajan con plaguicidas tengan un adecuado conocimiento del producto y de sus características, para que su manipulación y manejo sean correctos. Todo ello también contribuye a que no se produzcan efectos negativos sobre el medioambiente, ni sobre las per-

sonas que aplican los plaguicidas o las que consumen productos tratados con este tipo de sustancias.

La aplicación de tratamientos fitosanitarios de forma racional implica la adopción de una serie de medidas, entre las que destacan:

- Comprobación de la necesidad de realizar la aplicación: es preciso realizar una correcta identificación del patógeno, del nivel de población, del estado vegetativo del cultivo y de la presencia de fauna auxiliar.
- Selección del producto a aplicar: es importante tener en cuenta la materia activa, su forma de actuación, la forma de penetración en la planta y la alternancia de materias activas.
- Técnicas de aplicación: debe comprobarse el correcto funcionamiento del equipo de tratamiento, realizar una adecuada mezcla de plaguicidas, tomar las medidas de seguridad y de protección personal oportunas, y tener en cuenta las condiciones climáticas en el momento de la aplicación (viento, lluvia, etc.).

Si se detectan focos de araña blanca, araña roja o pulgón, es necesario estimar el riesgo que supone y recomendar en su caso un tratamiento localizado. En ocasiones también puede ser aconsejable dar un tratamiento generalizado con productos compatibles para disminuir la presión de las plagas. Tanto en un caso como en otro hay que maximizar la efectividad de los tratamientos que realicemos: elegir el momento del día adecuado, seleccionar el producto y el tipo de aplicación más adecuada.

Se puede establecer el concepto de eficiencia del control químico como la optimización de la aplicación del pesticida dentro del cultivo desde el punto de vista técnico y económico, para alcanzar con la dosis adecuada la población de la plaga o patógeno y poder causar el efecto tóxico sobre la misma, evitando las pérdidas de materia activa en el ambiente, así como los perjuicios sobre las personas y enemigos naturales.

Los pesticidas aplicados pueden provocar la reducción o eliminación de los enemigos naturales. La importancia de los efectos perjudiciales de los plaguicidas sobre la fauna útil de los cultivos dio lugar a la creación de un Grupo de Trabajo de la Organización Internacional de Lucha Biológica (OILB).

Los daños que pueden causar los productos fitosanitarios sobre los enemigos naturales los podemos clasificar en:

a) Efectos directos:

- Efectos letales: mortalidad a corto plazo < 24 horas o no eclosión de huevos y pupas.
- Efectos subletales: reducción de la fecundidad, alteración en el comportamiento de búsqueda.

b) Efectos indirectos:

- Ingestión de alimento de huéspedes contaminados.
- Reducción de las presas huéspedes.

Podemos definir la compatibilidad como la propiedad de un producto fitosanitario para controlar una plaga o enfermedad específica sin eliminar a los enemigos naturales. En la actualidad, se manejan los listados de efectos secundarios de plaguicidas sobre la fauna auxiliar (enemigos naturales y abejorros), elaborados por las empresas dedicadas a la producción y distribución de enemigos naturales, pero sería conveniente realizar una armonización de estos efectos por parte de la administración.

Según la clasificación de la OILB los efectos secundarios de los pesticidas sobre los organismos beneficiosos se dividen en 4 categorías. El efecto residual (persistencia) se expresa en el número de semanas e indica el tiempo que el pesticida es perjudicial para los enemigos naturales.

**Tabla 1. Efectos secundarios de los pesticidas sobre los organismos beneficiosos según la clasificación de la OILB**

| Símbolo/categoría              | Reducción en la capacidad de control (%)                                      |
|--------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Inofensivo                  | < 25                                                                          |
| 2. Levemente perjudicial       | 25-50                                                                         |
| 3. Moderadamente perjudicial   | 50-75                                                                         |
| 4. Efecto desconocido          | > 75                                                                          |
| Efecto residual o persistencia | Número de semanas que el pesticida es perjudicial para los enemigos naturales |

Fuente: <http://efectos-secundarios.koppert.nl/>.



# Reconocimiento de enfermedades de cultivos hortícolas en invernaderos

*María Antonia Elorrieta Jove*

Labcolor

## 1. Introducción

Entendemos por enfermedades vegetales a aquellas alteraciones perjudiciales producidas en las plantas por organismos microscópicos tales como virus, bacterias, hongos y nematodos, entre otras causas. Estas enfermedades se pueden manifestar desde los primeros estadios de desarrollo de las plantas, hasta en los últimos, y también en postcosecha. Por ello es importante hacer un seguimiento del estado sanitario de los cultivos, en lo que a este tipo de patógenos se refiere, hasta la comercialización final de los productos.

El que se manifieste una enfermedad en un cultivo pasa por que coincidan varios factores simultáneamente:

- La presencia del agente patógeno responsable de la enfermedad.
- La presencia de un hospedador susceptible, en este caso el cultivo.
- La presencia de las condiciones ambientales adecuadas para que se de dicha enfermedad.

Es obvio que la presencia del patógeno es el primer requisito para que se dé la enfermedad, pero se entiende que debe ser una raza virulenta, presentar una densidad de inóculo suficiente para generar la enfermedad, aparte de que sea necesario que se llegue a producir el contacto entre el patógeno y el hospedador. El hospedador debe ser susceptible al patógeno, y por tanto no debe ser una variedad resistente y debe estar en una fase del desarrollo fisiológico sensible a dicho patógeno. Normalmente, si la infección se da en un estado juvenil de la planta, los efectos de los patógenos son más devastadores que cuando está en estado adulto. Y por último, las condiciones ambientales son definitivas en muchos casos para que una enfermedad se dé. Por ejemplo, los hongos y bacterias suelen requerir unas condiciones de temperatura y humedad ambiental bastante definidas, que variarán según el organismo.

El número de enfermedades bacterianas, fúngicas y víricas a considerar como relevantes en los cultivos hortícolas del sureste almeriense son numerosas, más aun si se consideraran aquellas producidas por patógenos débiles que pueden actuar en condiciones desfavorables para el desarrollo de la planta. Por este motivo se intentará ofrecer un breve bosquejo de solo aquellas enfermedades que se manifiestan frecuentemente en los cultivos más comunes de la provincia, centrándonos principalmente en los de cucurbitáceas y solanáceas, así como en aquellas que aunque no se den en nuestra área, sí pueden ser de importancia por sus implicaciones epidemiológicas y/o por su particular significado dentro de la legislación fitosanitaria.

## 2. Bacterias relevantes en los cultivos hortícolas de Almería

En general, las bacterias más comunes responsables del desarrollo de enfermedades en hortalizas (y en las plantas en general) se agrupan en unos pocos grupos taxonómicos tales como los géneros *Pseudomonas*, *Xanthomonas*, *Clavibacter*, *Curtobacterium*, o las especies *Ralstonia solanacearum* y *Acidovorax avenae* (ambas incluidas anteriormente en el género *Pseudomonas*) los cuales se pueden presentar en tres grupos principales según su forma de actuación: aérea, medular y vascular.

### 2.1. Bacterias de actuación aérea

En este grupo incluiríamos principalmente las bacterias que actúan en la superficie de la planta, y que serían las pertenecientes a los géneros *Pseudomonas*, *Xanthomonas* y *Acidovorax avenae* subsp. *citrulli*.

#### 2.1.1. Especies patógenas vegetales pertenecientes al género *Pseudomonas*

Dentro del género *Pseudomonas*, se incluye un grupo de bacilos Gram negativos, ubicuo, que incluye numerosas especies de diferente importancia. Hay especies saprófitas, de gran interés por su elevada versatilidad metabólica, pero también incluye especies patógenas humanas, animales y vegetales.

Dentro de las especies fitopatógenas, la más destacable en el ámbito en el que nos movemos sería *Pseudomonas syringae*, especie productora de un pigmento fluorescente bajo luz UV en el medio B de King, que agrupa a numerosos patovares. Alguno de ellos es polífago (*Pseudomonas syringae* pv. *syringae*) mientras que otros son altamente específicos respecto al cultivo que pueden llegar a infectar (*P.s. pv. tomato* en tomate; *P.s. pv. lachrymans* en cucurbitáceas; *P.s. pv. phaseolicola* en judías, etc). Los diferentes patovares de *P. syringae* actúan en general produciendo manchas foliares que pueden afectar también al tallo y al fruto. En general todo este grupo de bacterias tiene requerimientos de temperaturas moderadas, en el entorno de los 20 °C y sobre todo humedad muy elevada. Se transmiten por semilla y se mantienen largo tiempo en los restos vegetales, en hospedadores silvestres, y como microbiota epífita en la superficie de numerosas plantas.

#### 2.1.1.1. *Pseudomonas syringae* pv. *tomato*

Es la responsable de la «peca bacteriana» del tomate, si bien en nuestra zona deberíamos llamarla la «bacteria de la mancha negra del tomate». Afecta a cualquier parte de la planta. El síntoma descrito como más común es la aparición de manchas pequeñas de color castaño a negro, frecuentemente rodeadas de un halo amarillo en las hojas (Figura 1), las cuales pueden extenderse a tallos y peciolo. Estas manchas se observan en nuestra zona sobre todo en los semilleros así como en algunas hojas en cultivo. El síntoma más característico en el caso de los invernaderos de producción en nuestra zona son largas extensiones del tallo de la planta ennegrecido (Figura 2), con la presencia en algunos casos, de vejigas, vesículas, cargadas de bacterias. Este ennegrecimiento avanza por el peciolo de los folíolos y ramos de fruto (Figura 3) hasta el punto de inicio de las hojas o el fruto. En los frutos está descrito el desarrollo de pequeñas manchas pardas, que son poco frecuentes en nuestro caso. Pueden traspasar la infección a las semillas cuya infección también se manifiesta en plántula si las condiciones ambientales son adecuadas.

**Figura 1. «Peca bacteriana» del tomate provocada por *Pseudomonas syringae* pv. tomato**



**Figura 2. Tallo de la planta ennegrecido por *Pseudomonas syringae* pv. tomato**



**Figura 3. Avance del ennegrecimiento hasta el fruto por *Pseudomonas syringae* pv. tomato**



#### *2.1.1.2. Pseudomonas syringae* pv. *lachrymans*,

Responsable de la mancha angular de las cucurbitáceas, se detecta en Almería en todos los cultivos (pepino, melón, sandía y calabacín) donde produce

principalmente manchas en hojas, tallos y frutos. Más común en pepino, en cuyas hojas produce manchas inicialmente pequeñas amarillas, redondeadas o irregulares, que conforme crecen y coalescen adquieren un aspecto angular al quedar delimitadas por la nervadura de la hoja (Figura 4). Se pueden secar y se tornan pardas hasta que se desprenden los tejidos afectados. En condiciones de humedad relativa alta pueden formar unas gotas de exudado con aspecto de lágrimas, de donde le viene el nombre a la bacteria. Los tallos y frutos pueden verse igualmente afectados por la presencia de estas manchas. En el caso de los frutos puede darse una infección sistémica que puede contaminar las semillas, una de las formas de transmisión de la enfermedad. En otras cucurbitáceas como calabacín y melón se pueden producir síntomas similares a los del pepino, si bien en melón se han observado también chancros en los tallos. En el caso del calabacín se está detectando con cierta frecuencia en nuestra área, produciendo en hoja manchas oscuras de aproximadamente 2mm de diámetro rodeadas de un halo amarillo (Figura 5). También se observan alteraciones en el desarrollo de la hoja por lesiones sufridas durante el crecimiento de la misma, apareciendo agujeros, deformaciones y «grietas» en hoja y tallo, fácilmente confundibles con otros patógenos.

**Figura 4. Manchas amarillas e irregulares producidas por *Pseudomonas syringae* en pepino**



**Figura 5. Manchas oscuras y alteración en el desarrollo de la hoja de calabacín por *Pseudomonas syringae***



#### *2.1.1.3. Pseudomonas syringae pv. syringae*

Afecta a diferentes hospedadores, entre ellos el tomate en el que produce una sintomatología semejante a la de *P s. pv. tomato*, si bien carece de las consecuencias epidemiológicas de esta. En melón en Almería se ha detectado asociada a zonas necróticas pardas en las hojas.

Otras especies de *Pseudomonas* descritas como fitopatógenas, al menos en cultivos como col, lechuga, cebolla, endivia, achicoria, etc. son *Pseudomonas marginalis* pv. *marginalis*, *P. viridiflava* y *P. cichorii*. Las tres pueden desarrollar una marchitez foliar semejante en lechuga, si bien en este cultivo la más agresiva sería *P. cichorii*, responsable de la veta negra de la lechuga, y considerada transmisible por semilla y capaz además de producir una infección sistémica vascular de difícil control. *Pseudomonas corrugata*, pertenece a este género pero se trata en el apartado dedicado a enfermedades medulares.

### 2.1.2. Especies patógenas vegetales pertenecientes al género *Xanthomonas*

El género *Xanthomonas* pertenece, al igual que *Pseudomonas*, a la Familia *Pseudomonadaceae*, y está formado igualmente por bacilos Gram negativos aerobios capaces de formar unos pigmentos llamados xantomonadinas, responsables de las colonias típicamente amarillas que muestran estas bacterias. El género incluye diferentes especies fitopatógenas, si bien la de mayor importancia en los cultivos hortícolas se corresponde con la especie *Xanthomonas campestris*, la cual, al igual que *Pseudomonas syringae* incluye diferentes patovares como son *X. campestris* pv. *campestris* (polífaga, de gran importancia en el género *Brassica*), *X. campestris* pv. *vesicatoria* (solanáceas), *X.c. cucurbitae* (cucurbitáceas). Este tipo de bacterias suele estar implicado también en el desarrollo de lesiones foliares en sus diferentes hospedadores.

#### 2.1.2.1. *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria*

Afecta principalmente a tomate y pimiento. En tomate produce la «mancha bacteriana» caracterizada porque las hojas muestran manchas parecidas, pero de mayor tamaño, que las de *P. syringa* pv. *tomato*. Son manchas oscuras circulares de varios milímetros que pueden volverse angulosas según se van desarrollando, con un halo amarillo muy discreto y cuyo centro puede desprenderse. En los tallos y peciolo pueden aparecer también manchas oscuras alargadas, así como en los frutos pueden aparecen manchas negras inicialmente pequeñas que conforme crecen adquieren aspecto de pústulas delimitadas por un halo oleoso, también de varios mm de diámetro. En pimiento produce manchas que también tienen aspecto de pústulas, que alcanzan diámetros de hasta 5 mm, en hojas, tallos y frutos. Esta bacteria transmisible por semilla es muy frecuente en zonas tropicales pues se desarrolla bien con

temperaturas cálidas, entre 20 y 35 °C, y mucha humedad. En nuestro caso es muy poco frecuente, o inexistente, probablemente porque no se dan las condiciones climáticas necesarias para su desarrollo. Son transmisibles por semilla por lo que su entrada en la zona con alguna partida mal controlada supone una amenaza a vigilar.

#### 2.1.2.2. *X. c. pv. cucurbitae*

Afecta principalmente a calabaza en la que se manifiesta a nivel foliar por manchas semejantes, aunque de menor tamaño, a las de *P. s. lachrymans*. En nuestra zona no se detecta en ninguno de los cultivos producidos habitualmente, pero además es poco frecuente en Europa donde se ha observado también sobre pepino. Su principal efecto se produce en los frutos de calabaza donde dan lugar a podredumbres durante su almacenamiento. Su importancia reside también en su transmisión por semilla.

#### 2.1.2.3. *Acidovorax avenae* subsp. *citrulli*

*Acidovorax avenae* (denominada anteriormente como *Pseudomonas avenae* y por tanto, con características propias del género *Pseudomonas*) incluye la subespecie *Acidovorax avenae* subsp. *citrulli* descrita como patógena de cucurbitáceas, en las que causa la «Mancha bacteriana del fruto». No está presente en nuestra zona, y en principio en el país, pero es de gran importancia en EEUU y Sudamérica. Su transmisión por semilla y su capacidad de actuar sobre las plántulas hace que sea de gran interés en semilleros. En los trasplantes de plántulas se observan como síntomas característicos áreas húmedas, aceitosas en el lado inferior de los cotiledones o de las hojas primeras, a menudo paralelas a las venas con un halo amarillo (Figura 6). Las áreas infectadas se elongan y se vuelven angulosas a la par que ennegrecen y necrosan. Algunas plántulas colapsarán y morirán inmediatamente desde la infección. Otras pueden retener la infección bacteriana y no exhibir síntomas hasta la producción del fruto. Los tallos, peciolo y raíces no se ven infectados y no muestran síntomas. En el fruto la bacteria puede extenderse desde la hoja infectada y produce una mancha verde oscura en su superficie superior que se expande rápidamente con condiciones ambientales favorables hasta cubrir toda su superficie. El ciclo de la infección empieza normalmente con semilla contaminada la cual encuentra en los semilleros un medio excelente para su

propagación, altas temperaturas y humedad, y que favorecen la dispersión del patógeno a otras plantas por las gotas del riego por aspersión. El trasplante de las plántulas infectadas al campo puede tener graves consecuencias. Esta bacteria podría incluirse dentro de los organismos nocivos cuya presencia se desconoce en el territorio nacional y por lo tanto, sobre el que hay que ejercer una extrema vigilancia.

**Figura 6. Síntomas de *Acidovorax avenae* en plántula**



## 2.2. Bacterias de actuación medular

En este grupo incluiríamos principalmente las bacterias que actúan en la zona interna de la planta exclusivamente, como es el caso de *Pseudomonas corrugata*, o el de aquellas que penetran disgregando los tejidos hasta la médula de la planta, a través de heridas de la misma, pero que también pueden actuar a nivel superficial, correspondiéndose con la bacteria *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum*, la cual podríamos haber incluido también en el grupo anterior.

### 2.2.1. *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum*

*Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum*, antigua *Erwinia carotovora* subsp. *carotovora*, es la bacteria responsable de la pudrición acuosa, acompañada de mal olor de diferentes cultivos como son el pimiento, tomate, berenjena, calabacín, pepino, melón, sandía, o la lechuga. Aparece en los tejidos a los que afecta con una mancha húmeda, que crece rápidamente y que

reblandece el tejido, sin clorosis, desintegrando los tejidos infectados al final, ya sean tejidos blandos como las hojas o frutos (Figura 7), o duros como es el caso del tallo. Dicha pudrición va acompañada de la liberación de un exudado acuoso, más patente en el caso de los frutos, que va cargado de bacterias y que supone un vehículo de dispersión del patógeno. En el caso del tomate se presenta sobre todo afectando a la zona medular del tallo, donde desintegra la zona interna del mismo, y progresa hacia el exterior acabando por destruir todo el tallo y marchitando toda la parte de la planta que está por encima de dicha lesión. En pimiento y berenjena el problema es similar, si bien en el pimiento la enfermedad tiene su principal importancia en el fruto, y sobre todo en postcosecha (Figura 8), aunque también se vea en campo y en tallo. El calabacín es uno de los cultivos más afectados en nuestra zona, apareciendo el daño sobre todo a nivel del tallo, en el punto de corte de las hojas, ya que estos constituyen un buen punto de entrada de la bacteria en el tejido y en los que además suele haber una elevada humedad ambiental, necesaria para el desarrollo de esta bacteria. En el pepino también puede aparecer sobre todo afectando la zona basal del tallo, probablemente debido a la mayor presencia de humedad en esa zona, y llevando a la desintegración total del tejido y por tanto al marchitamiento y muerte de la planta, al igual que en el calabacín.

**Figura 7. Reblandecimiento del tejido**



**Figura 8. Daño en el fruto**



La transmisión de esta bacteria se produce sobre todo por vía aérea, bien por contacto a través de la manipulación de la planta (probablemente la prin-

cipal causa de dispersión de la misma en el cultivo), bien a través del contacto mismo entre las plantas, el salpicado del agua o con el exudado acuoso que surge de los tejidos en descomposición. Es una bacteria ubícua por lo que se puede considerar que hay numerosas fuentes e infección y reservorios de la misma. Las condiciones ambientales que llevan a que se de este tipo de podredumbre requiere elevada humedad y temperaturas cálidas. Las mejores son aproximadamente de 24 °C o algo superior, aparte de que es necesaria la presencia de agua libre en los tejidos vegetales para que se de la infección.

### 2.2.2. *Pseudomonas corrugata*

Es otra bacteria que nos podemos encontrar, aunque con una baja frecuencia, en el cultivo del tomate. Afecta a la médula del mismo (Figura 9) produciendo una necrosis de la misma, que no lleva a la desintegración de los tejidos externos ni va acompañada de mal olor, como ocurre en el caso anterior. Su presencia puede no tener mayor consecuencia en el cultivo. Incluso en muchas ocasiones la planta sigue adelante sin llegar a presentar síntomas más graves, aunque en ocasiones se puede ver debilitada y presentar una maduración del fruto incorrecta.

**Figura 9. Necrosis en la médula en planta de tomate**



La transmisión se da también por la manipulación de las plantas, principalmente en las operaciones de «destallado» de la misma y se ve favorecido su desarrollo por un abonado nitrogenado excesivo.

### 2.3. Bacterias de actuación vascular

En este grupo incluiríamos principalmente las bacterias que actúan en el sistema vascular de la planta, y que se corresponden con especies de los géneros *Clavibacter* y *Curtobacterium* y la especie *Ralstonia solanacearum*.

#### 2.3.1. Especies patógenas vegetales pertenecientes al género *Clavibacter*

*Clavibacter* incluye especies de gran importancia fitopatógena. Está constituido por bacterias Gram positivas, pleomórficas. Varias especies componen el género, pero en lo que respecta a los cultivos hortícolas típicos, la de mayor interés en nuestra zona sería *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis*, responsable del «chancro bacteriano del tomate», su principal hospedador, y único de los cultivos que nos interesan. Esta bacteria es un patógeno vascular que aunque puede producir chancros y manchas foliares, su principal efecto, derivado de una infección sistémica de la planta, es la desecación y marchitez de la planta, más o menos reversible, con clorosis marginales e internerviales que le dan a la planta un aspecto de quemado (Figura 10). Esta sintomatología va acompañada de necrosis vasculares, con pardeamiento de los vasos (Figura 11) y formación de oquedades en la médula. Pueden además aparecer pequeñas manchas grises o negras sobre hojas, tallos y frutos, consecuencia probable de infecciones secundarias. Dichas manchas tienen a veces el aspecto de un quemado por productos fitosanitarios. Es frecuente también la aparición de esbozos radiculares, raíces adventicias a diferentes alturas del tallo, producidas por la planta en búsqueda del agua que no consigue traslocar desde la zona radicular. Las contaminaciones secundarias producidas por ejemplo por el salpicado de gotas de agua contaminada, dan lugar a manchas y quemado foliar antes que marchitamiento. En los frutos está descrita la posible aparición de manchas con el centro negro y un halo blanquecino alrededor, y que reciben el nombre «ojo de pájaro». Se considera su transmisión por semilla y dispersión en semilleros su principal forma de entrada en los campos de cultivo donde la bacteria no está presente. El manipulado de la misma sería la principal forma de transmisión secundaria. Permanece largo tiempo en restos vegetales y en suelo si no se desinfecta correctamente.

**Figura 10. Desección y marchitez de la planta de tomate**



**Figura 11. Necrosis medular y pardeamiento de los vasos**



### 2.3.2. *Ralstonia solanacearum*

*Ralstonia solanacearum* (conocida anteriormente como *Pseudomonas solanacearum* y con características del género *Pseudomonas*, oxidasa positivo y no fluorescente en King B, es una especie bacteriana que incluye varias razas, cinco actualmente reconocidas, muy extendidas por regiones tropicales, subtropicales y cálidas donde es un factor limitante de numerosos cultivos. Hay una raza, la raza 3, que también puede actuar en regiones más templadas, y que parece ser la que afecta principalmente a patata y tomate en la zona europea, y por tanto, la de mayor amenaza en las zonas templadas. Es la responsable del llamado «marchitamiento bacteriano» del tomate y está bajo erradicación en aquellas zonas en que ha sido detectada dentro de la Unión Europea. España aparece como país en el que no está establecida esta bacteria. Dado el grave riesgo que supone para los cultivos afectados y su fácil modo de transmisión por agua, además de por tubérculos y restos de cosecha, existe un control exhaustivo para impedir su entrada y desarrollo. Es una bacteria vascular que produce, al igual que *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis*, marchitamientos vasculares de las plantas afectadas. En tomate los síntomas consisten en un marchitamiento en verde de las hojas, que afecta inicialmente a las hojas más jóvenes, y que afecta rápidamente al conjunto de las plantas si las condiciones son óptimas (Figura 12). En condiciones menos adecuadas, el desarrollo puede ser más lento y aparecen también raíces adventicias en el

tallo. Los tejidos vasculares presentan pardeamiento y en un corte transversal puede emanar de ellos un exudado blanquecino a amarillento.

**Figura 12. Marchitamiento en verde de las hojas de una planta de tomate**



Fuentes de inóculo de la bacteria reconocidos son tubérculos de patata infectados y restos vegetales y suelo contaminados, desde los cuales la bacteria se puede mover fácilmente a través de cursos de agua o salpicado de agua y el movimiento del viento. El manipulado de las plantas es una buena forma de transmitirlo entre plantas.

### 2.3.3. Especies patógenas vegetales pertenecientes al género *Curtobacterium*

El género *Curtobacterium* incluye un grupo de bacterias Gram positivas con forma de maza en el que se engloban diferentes especies fitopatógenas, siendo en este caso de particular interés la especie *C. flaccumfaciens* pv. *flaccumfaciens* cuya acción vascular origina marchitez la judía, su principal hospedador, aunque puede afectar a otros cultivos tales como la soja. El efecto de este patógeno es más grave cuanto más temprana es la infección y además del marchitamiento de las hojas puede presentar también lesiones irregulares, amarillentas, en hojas, tallos y vainas. Este patógeno es de particular interés

por ser Andalucía zona protegida para esta bacteria y estar incluido dentro de los organismos nocivos de cuarentena no establecidos en el territorio español. Por lo tanto, no es un organismo conocido en la zona, pero dada su capacidad de transmisión por semilla, su control en semilleros es de gran importancia.

### 3. Hongos relevantes en los semilleros hortícolas

A diferencia de las bacterias, existe un amplio rango de grupos taxonómicos fúngicos dentro de los cuales podemos encontrar hongos fitopatógenos. En este caso, al igual que el de las bacterias, se pueden clasificar según su modo o lugar de actuación, en hongos que afectan al sistema radicular, los que afectan al sistema vascular, y los de actuación aérea.

#### 3.1. Hongos de actuación sobre el sistema radicular y cuello

En este grupo existe una larga lista de géneros y especies fúngicas que pueden actuar alterando la calidad del sistema radicular. Dentro de ellos podremos destacar algunas especies incluidas en los géneros *Pythium*, *Phytophthora*, *Rhizoctonia* y *Olpidium*, aunque existen otros con cierta incidencia como son *Monosporascus cannonballus* o *Thielaviopsis basicola*. Es necesario aclarar que los oomicetos, grupo al que pertenecen los géneros *Pythium*, y *Phytophthora*, están actualmente excluidos del reino de los hongos y se consideran del reino de los protistas. Pero por aspectos prácticos de la exposición del tema se tratarán en este apartado con lo que tradicionalmente se han venido considerando como hongos.

##### 3.1.1. Especies patógenas vegetales pertenecientes al género *Pythium*

Uno de los oomicetos de mayor importancia en los semilleros por ejercer su principal y notable efecto sobre plántulas, pertenece al género *Pythium*, oomiceto englobado en la Familia *Pythiaceae*, orden Peronosporales. El género *Pythium* incluye numerosas especies, algunas de las cuales son muy polífagas (*P. ultimum*, *P. debaryanum*, *P. aphanidermatum*). De forma genérica producen falta de germinación, marras de nascencia y caída de plántulas, caracterizada por la presencia de estrangulamientos y podredumbres de cuello y raíces, acompañadas de una rápida marchitez de la plántula. En general, las plantas se hacen más resistentes a partir del desarrollo de las primeras hojas verdade-

ras, si bien pueden acabar muriendo si ya están afectadas. En pepino se han observado algunos ataques a plantas en un estadio de desarrollo posterior al de plántula, pudiendo aparecer una pudrición blanda del cuello (Figura 13). Afecta a un alto número de cultivos, entre los que se pueden señalar pimiento, berenjena, tomate, pepino, melón, sandía, judía, remolacha, lechuga, etc. Este oomiceto, capaz de sobrevivir saprofiticamente, se caracteriza por formar un micelio de rápido crecimiento que forma esporangios en los que se producen zoosporas capaces de dispersarse nadando por el agua, además de formar oosporas en su fase sexual que persisten en condiciones ambientales adversas. Su entrada en las explotaciones se produce, normalmente, a través de plantas enfermas, sustratos contaminados, agua contaminada y semillas infectadas.

**Figura 13. Pudrición del cuello de una planta de pepino**



### 3.1.2. Especies patógenas vegetales pertenecientes al género *Phytophthora*

El género *Phytophthora*, al igual que *Pythium*, pertenece a la Familia *Pythiaceae*. Se diferencia en general de éste, entre otros factores, por su crecimiento más lento en medios de cultivo, sus esporangios típicamente en forma de limón, y por su menor capacidad saprofítica. Este género incluye numerosas especies patógenas con una gran diversidad en su forma de actuación y que afectan a una amplia gama de hospedadores, pudiendo actuar en podredumbres de raíces o cuello en plantas en período de crecimiento o en producción, en podredumbres del fruto y dando lugar a algunas enfermedades muy graves

como la seca o tristeza del pimiento (*P. capsici*), o el mildiu del tomate o la patata (*P. infestans*) (que se tratará en el apartado de los mildius)

*P. parasitica*, *P. capsici*, *P. megasperma*, y/o *P. drechsleri* se han identificado como capaces de actuar sobre el cuello de pepinos, melones, calabacines. *P. parasitica*, afecta a las plantaciones de tomate, sobre todo tras el trasplante, provocando podredumbres del cuello de aspecto húmedo y rápida progresión, con una elevada mortandad de las plantas (Figura 14). *P. capsici* actúa sobre el pimiento donde produce la enfermedad llamada tristeza del pimiento en la que se produce una podredumbre del cuello acompañada de un ataque sistemático de las raíces que lleva a la muerte de la planta, la cual presenta una marchitez brusca sin amarilleo previo. Su ataque a las plantas puede tener lugar en cualquier estado vegetativo de la planta, si bien la época crítica para la manifestación de los síntomas es la del periodo de fructificación.

**Figura 14. Podredumbre en el cuello de la planta de tomate tras el trasplante**



Su transmisión se da fundamentalmente a través de agua o sustratos contaminados. Es capaz de mantenerse en los restos vegetales y el suelo entre campañas, aparte de tener múltiples hospedadores intermedios.

#### *3.1.2.1. Rhizoctonia solani*

Dentro de los hongos que actúan a nivel radicular la especie *Rhizoctonia solani* tiene cierta importancia. Es un hongo igualmente polífago, con un amplio rango de plantas hospedadoras (melón, pepino, sandía, tomate, pimiento, judía, lechuga, etc.) y responsable también de marras de nascencia y caída

de plántulas, además de provocar podredumbres con chancros en el cuello y daños en tallo, raíz e incluso en frutos.

Este hongo vive en el suelo como saprófito y sus estructuras de resistencia le permiten sobrevivir en los restos de cosecha. Está presente en la mayoría de los suelos cultivados donde entra principalmente a través de sustratos o plantas contaminadas procedentes de semilleros. La sintomatología más visible en los semilleros es la caída de plántulas, la cual se puede confundir con los síntomas producidos por *Pythium*, aunque en este caso pueden aparecer chancros pardos en la base del tallo. Las plántulas de cucurbitáceas presentan estrangulamiento y podredumbre del cuello y de las raíces. En solanáceas se produce un reblandecimiento en la zona basal del tallo. En judía puede actuar antes y después de emerger las plántulas, en las que produce chancros en el cuello y posteriormente necrosis en el cuello y la raíz. De forma general se puede decir que los tejidos juveniles son más sensibles al hongo que los de la planta adulta, aunque su acción se pueda seguir manifestando posteriormente sobre todo en plantas afectadas en su etapa inicial del desarrollo. Cultivos como el de la lechuga son muy sensibles durante todo su ciclo vital, produciendo chancros en el cuello y podredumbre de las hojas, sobre todo las basales, con ennegrecimiento de las mismas (Figura 15).

**Figura 15. Chancro en el cuello y podredumbre en las hojas de lechuga**



### 3.2. Hongos de actuación sobre el sistema vascular

Pocas son las especies fúngicas que actúan principalmente sobre el sistema vascular de las plantas hortícolas: *Fusarium oxysporum* y *Verticillium dahliae* o

*V. alboatrum*, si bien en nuestra zona se queda prácticamente limitado a solo la primera especie *F. oxysporum*.

### 3.2.1. Especies patógenas vegetales pertenecientes al género *Fusarium*

El género *Fusarium* incluye diferentes especies patógenas vegetales entre de las que se debería destacar a *Fusarium oxysporum* en sus diferentes formas especializadas (*F.oxysporum* f.sp. *melonis* sobre melón, *F. oxysporum* f.sp. *niveum* sobre sandía, *F. oxysporum* f.sp. *cucumerinum* sobre pepino, *F. oxysporum* f.sp. *lycopersici* y *F. oxysporum* f.sp. *radicis-lycopersici* sobre tomate, etc.), las cuales producen de forma genérica una infección del sistema vascular con obstrucción de los vasos que se manifiesta por un amarilleo foliar y marchitez de la planta, acompañada de necrosis vascular. Este hongo, caracterizado por un micelio hialino muy ramificado sobre el producen microconidios, macroconidios fusoides con 3 a 5 septos, así como esporas de resistencia llamadas clamidosporas, persiste largo tiempo en el suelo. Estos patógenos se pueden transmitir en las semillas, con una baja pero significativa tasa de transmisión, siendo una de las fuentes primarias de inóculo. Así, las plantas se pueden ver afectadas en los distintos estados de desarrollo: antes de emerger, como plántula en el semillero, o como planta adulta. Sin embargo, lo más frecuente es que la enfermedad avance progresivamente y se haga más patente en el momento del engorde del fruto.

#### 3.2.1.1. *F. o. f.sp. melonis*

Produce con cierta frecuencia la muerte de plántulas de melón con síntomas característicos de fusariosis. En este cultivo, así como en sandía afectada por *F.o. niveum*, se observa flacidez y necrosis de las hojas, distribuida inicialmente en la planta de forma unilateral y posteriormente generalizada, acompañada de un retraso del desarrollo y pardeamiento de los tejidos vasculares (Figura 16). En melón además aparecen síntomas de amarilleamiento intenso así como la presencia de una estría necrótica que avanza a lo largo del tallo y los peciolo, a veces acompañada de secreciones gomosas rojizas en la zona baja del tallo. La incidencia de *F.o.niveum* en las fincas de cultivo llegó a ser tan alta que llegó a comprometer el cultivo de la sandía en la zona, si bien esto se corrigió gracias al empleo de injertos de calabaza resistentes a este hongo. Actualmente todos los cultivos de sandía en la zona de invernaderos de Almería son injertados.

**Figura 16. Pardeamiento de los tejidos vasculares** CAJAMAR CAJA RURAL



En el caso del pepino, *F.o. f.sp. cucumerinum*, origina también marchitez vascular tanto en plántulas como en plantas adultas. Esta última enfermedad, muestra estrías necróticas de gran longitud además de los síntomas de amarilleamiento de las hojas basales, pardeamiento del sistema vascular y marchitez. Puede manifestarse en todos los estados de desarrollo del cultivo, ocasionando marras de nascencia, caída de las plántulas y, de forma temprana, marchitez y muerte de las plantas en el trasplante.

#### 3.2.1.2. *F.o. f. sp. lycopersici*

Es el responsable en tomate de la fusariosis vascular, caracterizada por amarilleo sobre todo en las hojas basales seguido de marchitez sin defoliación, acompañada también con pardeamiento de los haces vasculares. Este hongo no es muy común, por no decir que no se da, en los cultivos hortícolas del litoral almeriense, probablemente por no concurrir las condiciones ambientales necesarias para que esta enfermedad se dé. Sin embargo, la forma especializada de *Fusarium oxysporum*, *radicis- lycopersici*, es muy frecuente en los invernaderos de Almería.

#### 3.2.1.3. *F.o. f. sp. radicis-lycopersici*

Es el responsable en tomate de una fusariosis que afecta principalmente al sistema radicular, No suele presentarse clorosis lateral de las hojas, al menos hasta ya avanzada la enfermedad, y su síntoma más evidente es una marchitez de la planta a las horas más calurosas del día, reversible inicialmente durante la noche, pero que acaba llevando a la muerte de la planta en muchos casos, y sobre todo en fase de engorde del fruto (Figura 17), cuando la planta está cargada de ellos. También es característico de este hongo un pardeamiento del cuello de la planta y del sistema radicular.

**Figura 17. Marchitez de la planta de tomate**



#### 3.2.1.4. *F.o. f. sp. lactucum*,

Responsable de la fusariosis de la lechuga, puede producir marchitez y muerte de plántulas. En este cultivo, las plantas afectadas muestran una raya característica parda que se extiende desde la raíz principal hasta el cortex de la corona.

Dentro del género *Fusarium* hay que mencionar también otras especies como *F. solani* que puede tener importancia en determinados casos como es el de *F. solani* f.sp. *phaseolicola* como uno de los hongos más extendido por el mundo como agente de necrosis de las raíces de judía, o *F. solani* f.sp. *cucurbitacearum* que en nuestra zona está haciendo mucho daño a nivel de cuello en plantas de calabacín.

### 3.3. Hongos de actuación aérea

Dentro de los hongos que afectan a la parte aérea de la planta y que fundamentalmente se transmiten por vía aérea (manipulado, viento, salpicado del agua, etc). se podrían destacar los que se tratan en este apartado, si bien hay que señalar que la lista es larga, y existen hongos muy comunes como es *Sclerotinia sclerotiorum*, que apenas se ven en nuestra zona, y que no tienen

por tanto cabida en este capítulo, aunque si es conveniente saber en otras zonas del continente pueden tener mucha importancia.

### 3.3.1. *Didymella bryoniae*

*Didymella bryoniae* (*Mycosphaerella melonis*), es el responsable de la podredumbre gomosa del tallo en melón, pepino y sandía. Los daños producidos por este patógeno se pueden iniciar en el semillero, donde se manifiestan en los cotiledones manchas circulares que progresan hasta el tallo donde se originan lesiones que acaban por secar la planta.

**Figura 18. Lesiones en el cuello de la planta**



**Figura 19. Peritecios del hongo en el tallo**



En plantas adultas la enfermedad se manifiesta por lesiones en el tallo, generalmente a nivel del cuello, que se recubren de puntos negros y oscuros correspondientes a los peritecios del hongo, así como también frecuentemente se producen exudados gomosos negruzcos en estas lesiones (Figura 18). En las hojas se producen manchas húmedas que avanzan extensas superficies de las hojas que al final necrosan, y en las que también se pueden presentar los picnidios y peritecas del hongo (Figura 19). En fruto este hongo tiene mucha importancia, sobre todo en pepino y calabacín, donde penetran sobre todo por la cicatriz estilar produciendo lo que se llama el «chupado del fruto», un adelgazamiento del mismo que termina con su pudrición.

### 3.3.2. *Botrytis cinerea*

*Botrytis cinerea* (Pers). forma asexual de *Botryotinia fuckleliana*, es, dentro de los hongos de actuación aérea, uno de los más importantes en el área y también a nivel mundial, debido en gran parte a su naturaleza polífaga, (ataca un vasto número de especies vegetales), su velocidad de dispersión, su dificultad de control (actualmente hay desarrolladas cepas resistentes prácticamente a la totalidad de los productos que permitían su control químico) y sus drásticos efectos. Puede afectar a cualquier órgano de la planta, sobre todo si está debilitado o dañado, produciendo su pudrición. En semillero produce podredumbres en el cuello y tallo y provoca la marchitez y caída de las plántulas mientras que en planta adulta puede atacar tallos, hojas y frutos. En tallo el hongo se desarrolla sobre lesiones (Figura 20) donde produce podredumbres que pueden llevar al marchitamiento de la parte del tallo que hay por encima de él. En hojas y flores produce lesiones pardas, mientras que en frutos produce manchas o pudriciones más o menos blandas (Figura 21). En todas ellas este hongo suele ser fácilmente identificable conforme avanza la lesión, y en presencia de humedad, por el desarrollo de su típico micelio pulverulento gris sobre los órganos afectados. La incidencia de la enfermedad es mayor en los primeros estados fenológicos de la planta, sobre todo en los meses de diciembre a enero, en los que se dan las condiciones adecuadas para su desarrollo, temperaturas entre 7 y 24 °C y humedad relativa superior al 90 %.

**Figura 20. Desarrollo de *Botrytis cinerea* en planta de tomate**



**Figura 21. Pudrición en el fruto**



### 3.3.3. Enfermedades producidas por los «oídios» o la ceniza

El «oídio» o «ceniza» es otra de las patologías aéreas que hay que considerar como prioritarias en los cultivos hortícolas de Almería. Con este término se hace referencia a un conjunto de especies fúngicas incluidas dentro de la Familia *Erysiphaceae*, Orden *Perisporales*, Clase *Ascomycetes*, que se caracterizan fundamentalmente por producir en la planta, hojas y tallos, manchas pulverulentas, en general blanquecinas, con aspecto de ceniza. Dentro de los oídios hay cierta especificidad al menos respecto a las familias de cultivo sobre las que actúan.

A nivel de cucurbitáceas los hongos principalmente implicados son *Podosphaera xanthii* (anteriormente conocida como *Sphaeroteca fuliginea*) y *Golovinomyces cichoracearum* (llamada hasta hace poco *Erysiphe cichoracearum*) si bien en nuestra zona parece dominar *Podosphaera xanthii*. Esta enfermedad, extendida a nivel mundial, produce en cualquier estado del desarrollo de la planta, manchas pulverulentas de color blanco en la superficie de las hojas (Figura 22) que van extendiéndose hasta secar hojas y tallos. El desarrollo de estos hongos es externo y, aparentemente, no está influido por la humedad relativa.

*Golovinomyces cichoracearum* es también el agente responsable del oídio en la lechuga, a la que afecta normalmente en estado ya de planta adulta.

En judía el oídio está causado por la especie *Erysiphe polygoni*, la cual desarrolla un velo blanquecino sobre la superficie de las hojas que se torna pulverulento provocando clorosis internervial en las mismas.

En el caso de las solanáceas el agente responsable más común es la especie *Leveillula taurica*. Los síntomas de la enfermedad se inician en la parte superior de las hojas con manchas amarillentas que se necrosan por el centro (Figura 23). En el envés de la hoja se observa un afeltrado blanquecino formado por el hongo, delimitado por los nervios. El avance de la enfermedad conlleva a la desecación y caída de la hoja con lo que se produce una importante defoliación de la planta. Su crecimiento en tamaño y número puede llevar a secar la hoja la cual se desprende de la planta, provocando defoliación de la misma. En tomate también se observa *G. cichoracearum* en nuestra área produciendo manchas blancas pulverulentas.

**Figura 22. Manchas pulverulentas en la superficie de la hoja**



**Figura 23. Hoja de tomate con manchas necrosadas por el centro**



#### 3.3.4. Enfermedades producidas por los «mildius»

Finalmente, son también importantes los hongos aéreos englobados dentro de la denominación genérica de «mildius», y en los cuales se engloban hongos del orden *Peronosporales*, y que incluyen especies como *Pseudoperonospora cubensis*, responsable del mildiu de cucurbitáceas, *Phytophthora infestans*, en el caso de las solanáceas, y por ejemplo *Bremia lactucae* que produce el mildiu de la lechuga.

*Pseudoperonospora cubensis*, agente causal del mildiu de las cucurbitáceas, presenta un micelio hialino que se desarrolla intercelularmente en el interior del tejido afectado del que emergen los esporangióforos en los que se forman esporangios responsables del afieltrado gris violáceo que se observa en el envés de las hojas afectadas. En el invernadero su efecto se manifiesta principalmente sobre melón y pepino, aunque también se ve en sandía y calabacín.. En pepino los síntomas se inician, generalmente ya en planta adulta, con manchas amarillo claro en el haz y aspecto aceitoso en el envés, de aspecto poligonal dada su limitación internervial (Figura 24). Estas manchas terminan por necrosar y secarse. En pepino es raro observar ataques en los cotiledones y las hojas verdaderas en sus primeros estados de desarrollo pues son bastante resistentes al ataque del hongo. Los síntomas en melón pueden darse de forma temprana, incluso en el semillero. Las lesiones se inician generalmente como pequeñas manchas translúcidas, verde claro, irregulares y rodeadas de un halo amarillento, las cuales conforme evolucionan, se necrosan y secan. En el envés de la hoja se observa el afieltrado del hongo. En sandía las manchas son

similares a las del pepino, pero de menor tamaño y con frecuencia próximas al borde de las hojas.

El mildiu del tomate o de la patata, producido por *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary, afecta sobre todo a plantas adultas, si bien puede ser una enfermedad temible en semilleros ubicados sobre todo en zonas donde la enfermedad no es endémica. En las plantas afectadas los síntomas se inician en los bordes y ápices de las hojas, comenzando por las hojas bajas de las plantas, con manchas inicialmente amarillentas que acaban pardeando y necrosándose en el centro. En el tallo se desarrolla un chancro pardo que puede llegar a rodearlo completamente marchitándose la zona superior al mismo. En este caso los frutos también se afectan mostrando una necrosis que avanza por el fruto (Figura 25) en la que a veces se observan anillos de crecimiento, y que en condiciones de humedad puede reblandecerse y emerger de la zona necrosada un micelio algodónoso.

**Figura 24. Manchas amarillo claro de aspecto poligonal en la hoja de una planta de pepino**



**Figura 25. Necrosis en fruto de tomate**



El mildiu de la lechuga producido por *Bremia lactucae* (Regel) es una de las enfermedades más temidas en este cultivo. Puede atacar a la lechuga a lo largo de todo su ciclo vital. En el semillero, en presencia de las condiciones ambientales adecuadas y una elevada densidad de plantación, puede producir graves daños. Los primeros síntomas pueden aparecer ya en los cotiledones en los cuales se produce un amarilleo progresivo hasta su muerte. Las plántulas atacadas quedan debilitadas y por lo tanto mucho más susceptibles frente a cualquier factor adverso, tanto biótico como abiótico. En estadios posteriores el mildiu afecta primero a las hojas externas, formando manchas angulosas,

limitadas por los nervios foliares que amarillean y se necrosan por desecación o pudrición según la humedad ambiental sea baja o alta. En el envés de la hoja se distingue el fieltro blanquecino del hongo, el cual germina y crece de forma óptima a temperaturas próximas a 15-20 °C y humedades relativas altas.

Otros hongos que pueden tener cierta incidencia en nuestra zona, bien en semilleros, bien en finca en producción, o incluso en postcosecha, y cuyos nombres es conveniente retener en la memoria aunque no se describan en el presente capítulo incluirían a: *Alternaria* sp. (como es el caso de *A. solani* en tomate o *Alternaria cucumerina* en pepino) normalmente implicada en el desarrollo de manchas en hojas y tallos, *Stemphylium* sp. responsable también de manchas foliares en tomate, confundibles con las de *Alternaria*, y que va tomando cada vez mayor importancia como enfermedad de este cultivo, al igual que *Fulvia fulva*, responsable de manchas también en tomate y muy extendida ya en nuestra zona, *Cladosporium cucurbitacearum* que va tomando importancia también en las cucurbitáceas del área y responsable de manchas foliares y en los frutos, *Monosporascus cannonballus*, con importancia sobre todo en aquellas fincas en las que a lo largo de los años se han repetido varios ciclos de cultivo de melón o pepino, sin descanso.

#### 4. Virus relevantes en los cultivos hortícolas de almería

Los virus son microorganismos que presentan una naturaleza diferente a la del resto de los seres vivos, ya que son organismos acelulares que utilizan la maquinaria celular de sus hospedadores para multiplicarse, por lo que son parásitos obligados. Se pueden clasificar según características de los mismos: estructura, forma, composición química, genoma, huéspedes, etc. Desde un aspecto práctico, los aspectos epidemiológicos del virus, tales como su forma de transmisión, y la sintomatología que producen pueden ser los aspectos más importantes a considerar. De hecho, una de las formas clásicas de clasificar los virus se fundamenta en la forma de transmisión de los mismos, ya que esta puede ser determinante en muchos casos en el establecimiento de la forma de control de estos virus. En la Tabla I anexa se presentan los principales virus que podemos encontrar en los cultivos hortícolas de Almería según su forma de transmisión.

#### 4.1. Virus transmitidos por contacto

Existe una larga lista de virus transmisibles por contacto, entre los que destacan los incluidos en el género *Tobamovirus* por la importancia de los daños originados en diferentes cultivos hortícolas. Además de los tobamovirus, hay otros que también se transmiten por contacto y entre los que hay que destacar el virus del *PepMV*, que actualmente es una de las principales virosis que afectan al tomate, no solo en Europa sino también a nivel mundial. La característica común a todos estos virus es que se pueden transmitir por contacto directo entre las plantas, o con el suelo contaminado, o por contacto con herramientas, utensilios o las propias manos o ropa de los agricultores, infectadas durante la manipulación de las plantas en operaciones culturales tales como la poda, deshojado, recogida de frutos, o simplemente por el roce al pasar entre las plantas.

##### 4.1.1. Tobamovirus

Dentro de los *Tobamovirus* se incluye un grupo de virus que además de transmitirse por contacto están formados por unas partículas virales muy estables y muy resistentes a factores físicos y químicos, de forma que pueden permanecer mucho tiempo en un terreno infectado y tanto el suelo como el agua contaminados con residuos vegetales infectados pueden constituir fuentes de infección. Su descripción se puede realizar conjuntamente ya que comparten muchas características en cuanto a la naturaleza de la partícula viral, las formas de transmisión, los reservorios y fuentes de inóculo, y sobre todo la forma de control. Dentro de los virus de interés en los invernaderos de Almería podríamos destacar los siguientes:

- *ToMV*: Virus del mosaico del tomate (*Tomato Mosaic Virus*) que afecta a Tomate y Pimiento.
- *PMMV*: Virus del moteado suave del pimiento (*Pepper Mild Mottle Virus*) en Pimiento.
- *TMGMV*: Virus del mosaico verde suave del tabaco (*Tobacco Mild Green Mosaic Virus*) en Pimiento y Berenjena.
- *CGMMV*: Virus del mosaico moteado verde del pepino (*Cucumber Green Mottle Mosaic Virus*) en Cucurbitáceas.

El virus del mosaico del tomate *ToMV* produce en tomate síntomas muy variables según la cepa del virus que infecte la planta y de la variedad de tomate afectada. En general consisten en un mosaico verde claro a verde oscuro en hojas, a veces tan suave que pasa desapercibido (Figura 26) pero que a veces puede ser una clorosis más llamativa, o llegar incluso a necrosar. En el tallo se producen igualmente estrías necróticas. En el fruto puede producir desde manchas necróticas circulares localizadas en el fruto hasta una necrosis completa del mismo. También hay variedades que no manifiestan síntomas en el fruto. En la planta se puede detectar un retraso del desarrollo de las plantas más marcado si la infección se produce de forma temprana en la planta. En pimiento, el *ToMV*, al igual que el *PMMV*, producen principalmente un mosaico suave verde claro-verde oscuro en hojas, rara vez más marcado. A veces aparecen estrías necróticas en tallo, poco marcadas. Todos estos síntomas pueden pasar desapercibidos pero no así los síntomas del fruto que son muy evidentes ya que se producen deformaciones marcadas acompañadas normalmente de la aparición de abullonaduras, y a veces depresiones o necrosis. Además, puede retrasar algo el desarrollo de las planta. La diferenciación de estos dos virus solo se puede hacer mediante análisis de laboratorio.

El *TMGMV* se ha visto tanto en pimiento como en berenjena. En berenjena se han observado principalmente necrosis foliares así como deformaciones con necrosis y rajado del fruto (Figura 27). En pimiento los síntomas más llamativos han sido la necrosis y deformación de los frutos.

**Figura 26. Mosaico verde claro producido por ToMV en hoja de tomate**



**Figura 27. Necrosis en fruto producido por TMGMV**



El *CGMMV* afecta en nuestra zona a diferentes cucurbitáceas, principalmente a Pepino, Melón, Sandía y Calabacín. Hay descritas varias razas que

cultivos se afectan y la sintomatología. En pepino los síntomas consisten en un moteado en las hojas jóvenes acompañadas normalmente de la aparición de manchas con forma de estrellas (Figura 28). Se produce también una constricción de los nervios que origina un abullonado de la hoja. La sintomatología de los frutos varía mucho desde frutos asintomáticos hasta frutos con moteados más o menos suaves, abullonados y deformaciones severas (Figura 28). En sandía muestra un mosaico foliar suave (Figura 29) y puede llevar a la descomposición interna del fruto ya maduro. En el melón se puede producir moteado foliar, enanismo, y reducción del rendimiento. En calabacín se observan las mismas manchas en estrella del pepino así como abullonaduras muy suaves, en hoja y fruto.

**Figura 28. Moteado y abullonado de las hojas de calabacín producidas por CGMMV**



**Figura 29. Mosaico foliar en la hoja producido por CGMMV**



Todos los virus mencionados se transmiten principalmente por contacto: por el roce entre las plantas, durante su manipulado, a través del suelo o del agua de riego, o lluvia. Presentan en general un rango de hospedadores silvestres limitado. En el caso del ToMV, PMMV y el TMGMV puede encontrarse en algunas solanáceas silvestres. El CGMMV está descrito además de en los cultivos mencionados en *Lagenaria siceraria*. Como fuentes primarias de infección se pueden señalar las semillas no tratadas convenientemente, el suelo infectado, restos vegetales infectados, hospedadores silvestres. La capacidad de mantenimiento de estos virus en restos vegetales puede ser desde varios meses hasta varios años, según las condiciones ambientales.

#### 4.1.2. El virus del mosaico del pepino dulce *PepMV*

El virus del mosaico del pepino dulce (*PepMV* = *Pepino Mosaic virus*) es un virus que afecta al cultivo del tomate (*Solanum lycopersicum*), al del pepino dulce (*Solanum muricatum*), y a alguna solanácea silvestre, pero no afecta al cultivo del pepino (*Cucumis sativus*). Es en 1999 cuando aparece por primera vez en tomate, en Inglaterra y Holanda, y desde ahí se extiende por todo el continente Europeo y la cuenca Mediterránea, así como en Sudamérica y Norteamérica.

Puede originar síntomas desde muy suaves a severos, según la raza viral, la variedad de cultivo o las condiciones climáticas. Parece que los síntomas tienden a ser más suaves en épocas más soleadas y se hacen más visibles en los días más cortos y fríos. A nivel foliar se observa desde un ligero moteado o mosaico suave hasta una clorosis severa, abullonaduras (Figura 30), filimorfismo o lo que se llaman «hojas en punta de flecha». En los frutos donde puede desde no presentar síntomas a mostrar un jaspeado característico (Figura 31) y una maduración inadecuada del fruto, síntoma que también puede estar asociado a otros problemas nutricionales, TIR, falta de luz, etc. Otros síntomas descritos son reducción del crecimiento, ahilamiento de la planta y, en ocasiones, colapso.

*PepMV* es un virus que se transmite por contacto, a través de las herramientas y maquinaria, las manos y ropas de los operarios, el contacto entre las plantas, etc. Se ha establecido una tasa de transmisión por semilla muy baja, de un 0.005 % al 0.05 % en semillas tratadas. Parece que también se puede transmitir a través del suelo o del agua de riego. Aunque con un tiempo de supervivencia inferior al descrito para los tobamovirus, este virus puede mantenerse durante varios meses, entre campañas, en restos vegetales infectados, en las raíces de las plantas arrancadas, o en los frutos, considerándose la comercialización de frutos infectados otra posible vía de dispersión del virus. En otros materiales se ha determinado su mantenimiento durante al menos algunas semanas.

**Figura 30. Clorosis y abullonaduras en hojas provocados por PepMV**



**Figura 31. Maduración inadecuada del fruto**



## 4.2. Virus transmitidos por Trips

### 4.2.1. Virus del bronceado del tomate (TSWV = *Tomato spotted wilt virus*)

El principal virus transmitido por trips es el «virus del bronceado del tomate» o «spotted», una de las virosis de mayor importancia que afecta a los cultivos de pimiento y tomate en la zona invernada de Almería. Produjo graves daños en nuestros cultivos cuando fue introducido a finales de los 80, pero se pudo controlar gracias al desarrollo de variedades resistentes. Sin embargo, ahora hay una nueva cepa del virus capaz de saltarse la resistencia del pimiento (no así la del tomate), y que está controlada gracias al control biológico del vector.

En tomate produce en las hojas manchas necróticas de color dorado oscuro que le dan aspecto de bronceado. Puede deformar las cabezas y reducir el desarrollo de la planta en infecciones tempranas. En el fruto produce manchas de madurez irregular y anillos cloróticos y/o necróticos (Figura 32).

En pimiento produce en las hojas anillos cloróticos concéntricos o en forma de arabescos (Figura 33), que pueden necrosar. Pueden deformar los brotes jóvenes produciendo enanismo de las cabezas, y reducir el crecimiento de la planta. En los frutos también produce manchas con forma anillada.

**Figura 32. Manchas de madurez irregular y anillos cloróticos en fruto de tomate**



**Figura 33. Anillos cloróticos concéntricos en la hoja de pimiento**



En nuestra provincia puede ser importante también en la lechuga, en la que principalmente produce necrosis, normalmente más extendidas en las hojas viejas externas. Otros muchos cultivos se ven afectados por este virus con síntomas semejantes a los descritos. Las cucurbitáceas en principio no parecen verse afectadas por el mismo

Se transmite a través de la picadura del trips *Frankliniella occidentalis* infectado, si bien no todas las fases del trips son infectivas. Éste adquiere el virus en su fase larvaria, cuando se alimenta de la savia de una planta infectada, y solo lo podrán transmitir después de transformarse en adultos. Un trips adulto sin infectar no puede adquirir el virus en esta fase. En resumen, las larvas adquieren el virus pero no lo transmiten y los adultos lo transmiten pero no lo adquieren.

Es un virus bastante inestable, de poca persistencia en los residuos vegetales, y apenas minutos u horas en el ambiente. No está descrita su transmisión por semilla, ni por contacto de forma natural. Dada su inestabilidad y su necesidad de transmisión a través de trips, se puede considerar que el principal reservorio y fuente de infección primaria del virus, sería cualquiera del casi incontable número de hospedadores que existen para este virus (cultivos hortícolas, ornamentales, malas hierbas, etc).

### 4.3. Virus transmitidos por mosca blanca

La mosca blanca en general, y *Bemisia tabaci* en particular, es una de las principales plagas que afectan a los cultivos hortícolas de Almería. Su importancia radica en su capacidad de transmitir diferentes virus de gran incidencia en nuestra provincia, aparte de los daños que ellas mismas pueden producir. En el tomate puede transmitir el «virus de la cuchara» o *TYLCV* (que puede afectar también a judía) o el virus del «Toc», o del «Tic», o el del «Torrao», estos dos últimos apenas conocidos, de momento, en nuestra provincia. En cucurbitáceas transmite el virus del amarilleo, *CSYDV*, y el de las venas amarillas, *CVYV*.

#### 4.3.1. Virus de la «cuchara» o del rizado foliar amarillo del tomate (TYLCD=Tomato yellow leaf curl disorder)

El virus de «la cuchara del tomate», o (*TYLCV*) es una de las principales virosis que afecta al cultivo de tomate en Almería. Llegó a esta zona a principios de los 90 con la entrada de *Bemisia tabaci*, produciendo grandes daños en el tomate. Este convive con el virus actualmente gracias al desarrollo de variedades tolerantes si bien sigue habiendo una alta incidencia en infecciones tempranas con temperaturas elevadas. Estas tolerancias están amenazadas además por la aparición de nuevas razas del virus, o cepas recombinantes (mezclas de las antiguas), de las que el virus de la cuchara muestra varias. Es por esto por lo que en muchos casos se habla más de la enfermedad, «enfermedad del rizado foliar amarillo del tomate» (*TYLCD=Tomato yellow leaf curl disease*) y del complejo de geminivirus relacionados con ella (*TYLCSV*, *TYLCV*, *TYLC-KaV*, *TYLCGuV*, *TYLCCMV*, etc). Esta diversidad genética conlleva una variabilidad biológica que se manifiesta en las variedades de tomate que son capaces de infectar, si infecta a judía o no, etc.

Los síntomas que produce en el cultivo del tomate son principalmente un enrollado del limbo foliar hacia arriba, más marcado en las hojas jóvenes, acompañado de clorosis sobre todo en el borde y reducción del desarrollo de los folíolos sobre todo en la zona apical (Figura 34). Los brotes son erectos, y a veces van acompañados de una coloración violácea. Hay una parada en el desarrollo de la planta que muestra un porte más arbustivo. El virus afecta a la floración y por tanto, a la producción de la planta. Cuando la infección

se produce de forma temprana la reducción de la producción puede llegar a alcanzar porcentajes elevados.

**Figura 34. Enrollamiento foliar, clorosis y reducción de los folíolos**



El *TYLCV* se transmite de forma efectiva y específica solo por la mosca blanca *Bemisia tabaci*. Es un tipo de transmisión persistente, en el que las moscas blancas adquieren el virus cuando se alimentan de la planta infectada durante al menos 15-30 minutos, y mejor si es durante varias horas. Tras un periodo de latencia de varias horas la mosca blanca ya puede empezar a transmitir el virus, es «virulífera» y ya lo será durante prácticamente todo el tiempo de vida adulta del vector. Esta capacidad de transmisión no se transmite a su descendencia.

No se conoce otra forma de transmisión, ni mecánica, ni por semilla, y su persistencia en restos vegetales es reducida. Con un número de hospedadores naturales bastante restringido, pues aparte de tomate, y judía se ha observado en *Solanum nigrum* y *Datura stramonium*, la transmisión del virus queda estrechamente ligado a *Bemisia tabaci*, lo que tiene su importancia a la hora de establecer las medidas de control.

#### 4.3.2. Virus de la clorosis del tomate (*ToCV*=Tomato chlorosis virus) y Virus de la clorosis infecciosa del tomate (*TiCV*=Tomato infectious chlorosis virus)

El virus de la clorosis del tomate (*ToCV*) es una virosis que muestra una incidencia creciente en el cultivo de tomate en nuestra provincia y que también se está detectando ocasionalmente en pimiento. Está presente a nivel mundial y en España se describe por primera vez en 1997 en el sureste español. El virus de la clorosis infecciosa del tomate (*TiCV*) también está descrito a nivel mundial actualmente. En España se describe por primera vez en 2001 en Castellón y Alicante y se ha extendido notablemente en el levante español, si bien hoy por hoy no en Almería, ya que apenas se detecta su vector, la mosca blanca *Trialeurodes vaporariorum*.

La sintomatología mostrada por ambos virus, tanto por *ToCV* como *TiCV*, es bastante similar. Principalmente consiste en un amarilleo internervial que afecta a la zona media, baja de la planta (Figura 35). De forma ocasional dicha clorosis puede volverse parda o bronceada hasta terminar en necrosis sobre todo en las hojas basales. Puede presentarse un enrollado de dichas hojas las cuales se pueden volver más gruesas y quebradizas y en general la planta muestra una pérdida de color y brillo. Esta sintomatología se confunde muy fácilmente con desórdenes nutricionales, toxicidad química o la senescencia natural de las hojas. Se puede producir un ligero retraso en el desarrollo de la planta y también en la maduración del fruto, aunque son frutos perfectamente comercializables. *TiCV* puede presentar síntomas algo más severos que el *ToCV*.

**Figura 35. Amarilleo internervial en la zona media baja**



El *ToCV* se transmite por diferentes especies de mosca blanca, *Trialeurodes vaporariorum*, *Trialeurodes abutilonea*, y *Bemisia* spp. El *TiCV* se transmite por la especie de mosca blanca *Trialeurodes vaporariorum* pero no se transmite por *Bemisia tabaci*. Ninguno se transmite mecánicamente. Existen diferentes hospedadores silvestres descritos para estos virus, que pueden ser el reservorio de los mismos y su fuente de infección, ya que su mantenimiento en restos vegetales es baja.

#### 4.3.3. Virus de «torrao» del tomate (*ToTV*=*Tomato torrado virus*)

Descritos los síntomas por primera vez en el año 2001 en Murcia (España), no es hasta el año 2007 cuando Verbek, y colaboradores, aíslan y describen el virus. Este virus se ha extendido por el levante español y ha llegado hasta Canarias donde también ha causado graves daños. Sin embargo, en Almería, de momento, no se ha producido una introducción importante del virus, si bien si se ha descrito de forma puntual.

Produce síntomas a nivel aéreo que conforme avanza la enfermedad le dan a la planta el aspecto de quemado o «torrado». El inicio de los síntomas se presenta con la aparición de clorosis con necrosis en la base del foliolo, manchas que avanzan desde la base del foliolo hacia la punta, con deformación parcial y total del mismo (Figura 36). Igualmente se presentan necrosis y deformaciones de tallos, peciolos y pedúnculos. La planta muestra disminución del desarrollo con enanismo y deformación de la cabeza. En el fruto causan fuertes necrosis en cremallera y rajado (Figura 37).

**Figura 36. Necrosis en la base del foliolo**



**Figura 37. Necrosis en forma de cremallera y rajado**



Parece que se puede transmitir por mosca blanca (*Bemisia tabaci* y *Trialeurodes vaporariorum*), si bien falta todavía definir muchos datos sobre cómo se produce la transmisión de este virus. Dentro de lo que se sabe del virus se encuentra en varias especies silvestres de las familias *Amaranthaceae*, *Caryophyllaceae*, *Chenopodiaceae*, *Cruciferae*, *Malvaceae* y *Polygonaceae*.

#### 4.3.4. Virus del amarilleo y enanismo de las cucurbitáceas (CYSDV = *Cucurbit yellow stunting disorder virus*)

El «virus del amarilleo» (CYSDV), como decimos localmente, se detecta en primer lugar en los Emiratos Árabes en 1982 a toda la cuenca mediterránea, Europa y América. En nuestro país se detecta por primera vez en el sureste español en 1991.

Su síntoma más característico es un amarilleo internervial de las hojas, inicialmente en las hojas viejas, basales y que avanza hacia las más jóvenes, tanto en melón como en pepino (Figura 38). No se muestra ninguna sintomatología en fruto y en principio tampoco en el desarrollo de la planta, pero si hay descrita pérdida de producción. Respecto a otras cucurbitáceas como calabacín y sandía, éstas están descritas como hospedadores del virus, pero de momento en nuestra área no se han observado apenas síntomas en estos cultivos.

**Figura 38. Amarilleo internervial en hojas**



La transmisión del virus se produce exclusivamente a través de *Bemisia tabaci* de forma semipersistente. Esto es, las moscas necesitan alimentarse du-

rante un tiempo prolongado (mejor de horas) para adquirir el virus y, después de un periodo de latencia en el que no transmiten el virus hasta volverse virulíferas, que lo serán durante unos 9 días. Afortunadamente, la eficiencia de transmisión no es muy alta, solo un 3 % de las moscas virulíferas transmiten el virus a una planta de melón.

Hay pocos reservorios silvestres del virus pues el rango de plantas huéspedes naturales para el CYSDV está limitado a las cucurbitáceas (melón, sandía, pepino, calabaza y calabacín), alfalfa (*Medicago sativa*), lechuga (*Lactuca sativa*) y judía (*Phaseolus vulgaris*), principalmente. Dado que no es un virus estable capaz de persistir en el ambiente o en restos vegetales, estos reservorios tienen importancia como posible fuente de inóculo del virus.

#### 4.3.5. Virus de las venas amarillas del pepino (CVYV= *Cucumber vein yellowing virus*)

El virus de las venas amarillas del pepino (CVYV) es el otro virus importante transmitido por *B. tabaci* en cucurbitáceas. Detectado por primera vez en España en el 2000, está localizado en los países de la cuenca mediterránea, causando síntomas en hojas y frutos de pepino de Almería.

La sintomatología más típica de este virus, en pepino, es un amarilleo de las venas de las hojas apicales. También puede presentarse un amarilleo general de la planta, menor desarrollo de la misma, frutos de menor tamaño, moteado en hojas y un mosaico en el fruto de pepino. En melón los síntomas foliares son semejantes a los del pepino (Figura 39) y en fruto puede desde no haber síntomas hasta presentarse un fuerte mosaico. También puede derivar en una muerte súbita de la planta. En calabacín, amarilleo suave de los nervios de las hojas. En sandía, los síntomas son clorosis suaves en hojas que pueden incluso pasar desapercibidos. Sin embargo, en el fruto de sandía este virus puede producir necrosis generalizadas del fruto y rajado del mismo.

El CVYV se transmite también por *Bemisia tabaci* de forma semipersistente. En este caso la persistencia del virus en la mosca blanca es significativamente menor, de unas 6 horas.

Presenta un rango de hospedadores principalmente restringido a cucurbitáceas, tanto cultivadas como no cultivadas y también se ha demostrado la infección en algunos miembros de otras familias, como *Solanaceae*, *Asteraceae*, *Malvaceae* y *Convolvulaceae*. Estas plantas huésped son las que pueden actuar como reservorio y fuente de inóculo para el virus.

**Figura 39. Amarilleo de las hojas de pepino**



#### *4.4. Virus transmitidos por pulgones*

Los virus transmitidos por pulgones han tenido históricamente una gran importancia en los cultivos hortícolas realizados al aire libre, e incluso en invernadero. En las últimas décadas se consiguió un buen control de ellos gracias al control químico de estos vectores, ayudado por unos buenos cerramientos del invernadero. Sin embargo, la implantación generalizada de sistemas de control biológico de las plagas de invernadero ha mejorado el control de mosca blanca y de trips, pero no tanto el de pulgón, razón para que estén reapareciendo algunos casos este tipo de virus. Dentro de los diferentes virus que podemos encontrar en nuestra zona transmitidos por áfidos o pulgones destacan el virus del mosaico del pepino (*CMV*), de gran importancia en la mayoría de los cultivos, el virus Y de la patata (*PVY*) propio de solanáceas, y los virus del mosaico amarilleo del calabacín (*ZYMV*), del mosaico de la sandía (*WMV*) y de las manchas anulares de la papaya (*PRSV*) en cucurbitáceas, junto con el virus del amarilleo de las cucurbitáceas transmitidas por pulgones (*CABYV*) de reciente detección en la zona

##### *4.4.1. Virus del mosaico del pepino (CMV= Cucumber mosaic virus)*

El virus del mosaico del pepino (*CMV*) es un virus de distribución mundial con un amplio número de plantas hospedadoras, afectando a la mayoría

de los cultivos hortícolas de interés en nuestra zona. Existen diferentes razas del virus que son responsables de la manifestación de diferentes síntomas

En tomate puede presentar síntomas desde leves hasta extremos. Hay razas poco virulentas que originan un mosaico suave, con una ligera deformación de los folíolos, filimorfismo, que se acompaña de necrosis interna en la zona apical de los primeros frutos. Razas más agresivas pueden llevar a síntomas más acentuados, clorosis internervial con necrosis en zonas más o menos extensas de la hoja. Dichas hojas pueden curvarse hacia abajo sobre los peciolo y sobre el tallo, que pueden mostrar estrías necróticas. La enfermedad avanza de la zona apical hacia la zona inferior. En los frutos pueden aparecer deformaciones y necrosis más o menos extensas (Figura 40). La enfermedad también afecta al desarrollo de la planta con acortamiento de los entrenudos y adquisición de un aspecto achaparrado. En cualquier caso hay que tener en cuenta que aunque la enfermedad puede ser muy destructiva en la planta, no es frecuente que se produzca una elevada dispersión de la misma entre plantas en el invernadero, sobre todo por el control que se suele ejercer sobre el vector.

**Figura 40. Deformación y necrosis de fruto producidos por CMV**



En pimiento puede aparecer amarilleamiento con rizado de la superficie foliar, acortamiento de los entrenudos, y aparición de algunas manchas necróticas o anillos de color verde sobre hojas más viejas y amarillentas. En los frutos pueden aparecer alteraciones de forma y color, con anillos decolorados, o necrosis y también caída de fruto. También pueden presentar cortes necróticos pequeños y profundos.

En cucurbitáceas, principalmente en pepino, melón y calabacín, dan lugar a deformación de hoja, con reducción de la superficie foliar, deformación y mosaico amarillo verdoso. En los frutos, y principalmente en calabacín y pepino, produce deformación de frutos con depresiones o perforaciones, además de endurecimiento de los mismos y disminución del cuajado de los mismos. Es frecuente que aparezca en infecciones mixtas con otros virus, generalmente potivirus como *PRSV*, *ZYMV* o *WMV*.

En leguminosas ataca principalmente a la judía y al haba. En la judía muestra mosaicos en hojas con decoloración al borde de la nervadura de la hoja y deformaciones foliares. En el haba pueden llevar a manchas de color rojizo en el envés de la hoja que puede llevar a necrosis y marchitez foliar.

Se transmite de manera no persistente por numerosas especies de pulgones, especialmente *Myzus persicae*, *Aphis gossypii*, *A. fabae* y *Macrosiphum euphorbiae*. El virus es adquirido por el insecto a partir de una planta infectada con picaduras de cata. Basta con que esté un minuto para que pueda transmitir el virus a otra planta sin necesitar periodo de latencia. La capacidad de transmitir el virus se mantiene del orden de unas 4 horas mientras no libere toda la carga viral que adquirió durante su alimentación. Transcurrido ese tiempo puede volver a infectarse alimentándose nuevamente en plantas infectadas.

El número de plantas hospedadoras del virus es muy elevado, superior a 1.000 especies vegetales que incluyen tanto especies cultivadas como silvestres, y que serán reservorio y fuente de inóculo del virus. Su transmisión por semilla está descrita para algunas leguminosas y algunas cucurbitáceas aunque con una importancia despreciable, y no en tomate, pimiento, calabacín, pepino o melón.

#### 4.4.2. Virus Y de la patata (*PVY*= *Potato virus Y*)

El virus Y de la patata (*PVY*) es la especie tipo del género *Potyvirus*. Es un virus distribuido a nivel mundial que afecta de forma natural casi exclusivamente a solanáceas cultivadas, principalmente a pimiento, tomate, patata y tabaco. Existen diferentes razas del virus que se diferencian por la

sintomatología que producen, su facilidad de transmisión y su especificidad de hospedador.

En tomate la sintomatología no suele ser muy marcada. Puede darse desde un mosaico inapreciable acompañado de una ligera deformación de las hojas a algunas necrosis internerviales no muy extensas en hojas medias. Los frutos no suelen manifestar síntomas.

En pimiento los daños son en general más lesivos. Pueden variar desde un ligero mosaico internervial con bandas perinerviales, o una ligera clorosis foliar, con una rugosidad no muy marcada, a necrosis marcadas de las nerviaciones en el envés de la hoja (Figura 41) y sobre todo en las hojas más jóvenes, que también pueden deformarse, en el caso de cepas necrógenas. Puede presentarse necrosis en tallo, sobre todo en la parte medio distal del mismo. En los frutos puede haber necrosis y deformaciones más o menos marcadas. El crecimiento de la planta puede verse reducido sobre todo en infecciones tempranas.

**Figura 41. Necrosis marcadas en las nerviaciones del envés en una hoja de pimiento**



El PVY es un virus transmitido por más de 25 especies de pulgones (*Myzus persicae*, *Aphis gossypii*, *A. spiraeicola*, *A. fabae*, *Macrosiphum solanifolii*, y *M. pisi*, etc.). de forma no persistente. Basta que el pulgón se alimente durante 15-60 segundos en una planta infectada para que sea capaz de transmitirlo a otra sana, para lo que necesita un tiempo mínimo de inoculación de 30 a 60 segundos. Esta capacidad se mantiene máximo durante unas 24 horas. Puede

volver a ser infectivo otra vez si vuelve a alimentarse de una planta infectada. No se ha detectado transmisión por semillas, y existen varias especies silvestres, además de cultivadas, tales como *Solanum nigrum*, *S. dulcamara*, *Cirsium* spp. *Portulaca oleracea*, etc., que son hospedadores naturales del virus y que pueden servir de reservorio y fuente de inóculo.

#### 4.4.3. Virus del mosaico amarillos del calabacín (ZYMV=*Zucchini yellow mosaic virus*)

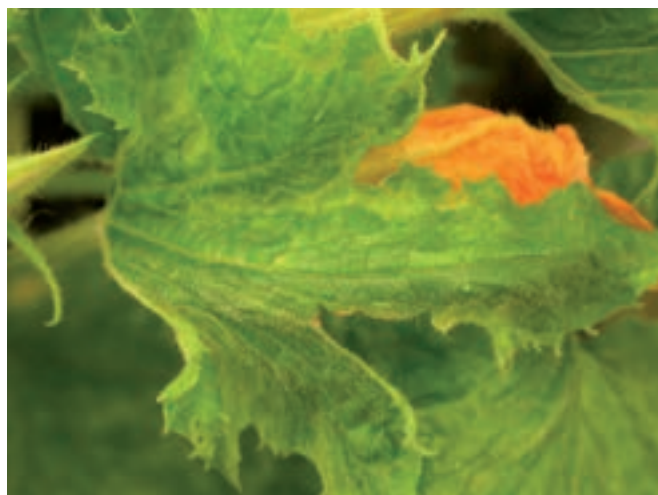
El virus del mosaico amarillo del calabacín (ZYMV) es un potivirus transmitido por pulgones, que afecta a un rango muy limitado de hospedadores, casi exclusivamente cucurbitáceas cultivadas, en las que tiene importancia a nivel mundial. Existen diferentes razas responsables de la manifestación de diferentes síntomas y comportamiento epidemiológico.

En calabacín puede inicialmente decoloración de las nerviaciones de la hoja, con desarrollo de amarilleo de extensas zonas de la hoja intercaladas con zonas verde oscuro, abullonaduras y filimorfismo más o menos acentuado (Figura 42). Afecta al desarrollo general de la planta a la par que los frutos presentan deformaciones y rajado, en muchos casos indistinguibles de los producidos por el virus PRSV. Algunas cepas menos virulentas pueden producir un ligero mosaico foliar sin síntomas en los frutos. En pepino dan lugar a decoloración de los nervios seguidos de manchas de intensidad variable y deformaciones y abullonaduras de la hoja, reducción en el desarrollo de la planta y manchas ligeras en los frutos. En melón la enfermedad puede ser grave, induciendo decoloración en las nerviaciones de las hojas, amarilleos, mosaicos, deformaciones y abullonaduras, con un crecimiento irregular de la planta. Los frutos pueden mostrar mosaicos, acorchados y agrietados externos, y manchas y necrosis interna. En sandía lo más común es que aparezcan mosaicos foliares marcados y falta de desarrollo de la planta.

Este virus, al igual que los potivirus que se tratan a continuación, se transmiten por numerosas especies de pulgones, tales como *Myzus persicae*, *Aphis gossypii* y *Macrosiphum euphorbiae*. La forma de transmisión en todos ellos es lo que llamamos «transmisión no persistente». En ella el virus es adquirido por el vector cuando realiza picaduras de cata. Basta con apenas un minuto de cata para que pueda directamente transmitir el virus a otra planta sana, sin necesitar un lapso de tiempo. Esta transmisión a una planta sana se realiza igualmente con poco tiempo de alimentación en la misma. Además, el pulgón

es virulífero solo unas pocas horas, mientras no libere toda la carga viral que adquirió durante su alimentación. Luego puede volver a infectarse alimentándose nuevamente en plantas infectadas.

**Figura 42. Decoloración de las nerviaciones en la hoja de calabacín**



Respecto a los hospedadores en los que se puede mantener el ZYMV apenas hay descritas otras alternativas aparte de los cultivos mencionados. No son transmisibles en general por semilla, aunque hay descrito un índice muy bajo para ZYMV en calabacín, de escaso valor epidemiológico. Además se ha visto cierta capacidad de transmisión durante la poda cuando se contacta la savia de una planta con la de otra a través de los cortes realizados con tijera.

#### 4.4.4. Virus de las manchas anulares de la papaya (*PRSV*=*Papaya ringspot virus*)

El virus de las manchas anulares de la papaya (*PRSV*) llamado antes «virus 1 del mosaico de la sandía» o *WMV-1* (*watermelon mosaic virus-1*), es un potivirus que afecta también casi exclusivamente a cucurbitáceas cultivadas, calabacín, melón, sandía y pepino.

Los síntomas más agresivos se manifiestan en calabacín, en el que puede observarse filimorfismo, abullonaduras y mosaicos verde oscuros en hoja, en la que también puede aparecer un rizado y dentado más agudo. Los frutos muestran deformaciones, abullonaduras y agrietados, que pueden estar acor-

chados (Figura 43). En melón y sandía puede aparecer deformación, filimorfismo y clorosis de hojas con bandas verde oscuras en las zonas adyacentes a los nervios. En ambos casos el desarrollo de los frutos se ve reducido, con deformaciones externas, y sobre todo en sandía, con decoloración de la pulpa. El pepino también manifiesta mosaico y deformaciones foliares, así como un mal desarrollo del fruto acompañado de deformación y mosaico en la corteza.

Respecto a la forma de transmisión y los hospedadores se puede decir lo mismo que lo comentado en el apartado anterior para *ZYMV*.

**Figura 43. Agrietado, deformación y abullonadura del fruto del calabacín**



#### 4.4.5. Virus 2 del mosaico de la sandía (*WMV-2: watermelon mosaic virus-2*)

El virus 2 del mosaico de la sandía (*WMV-2*, o simplemente *WMV*) es otro potivirus prácticamente indistinguible del anterior en la sintomatología que produce en cucurbitáceas, aunque algo más leve. En este caso el rango de hospedadores es algo superior al de los otros dos virus.

Produce síntomas semejantes en las diferentes cucurbitáceas: mosaicos difusos, bandas claro oscuras en el entorno de los nervios foliares, filimorfismo y deformaciones foliares. Se da una pérdida de frutos, los cuales pueden sufrir deformaciones, y cambios de color, sobre todo en sandía y calabacín. Estos cuadros descritos pueden agravarse notablemente por la aparición de

infecciones mixtas, las cuales son muy comunes, dada la similitud de plantas hospedadoras e insectos vectores del virus.

Respecto a su forma de transmisión se puede decir lo mismo que con el ZYMV. No se transmite por semilla y respecto a los hospedadores están descritos también como hospedadores algunas leguminosas y también algunas ornamentales y plantas silvestres.

#### *4.5. Virus del amarilleo de las cucurbitáceas transmitido por pulgones (CABYV= cucurbit aphid-borne yellowing virus)*

Recientemente se han observado casos de amarilleo en cultivos en los que no hay presencia de mosca blanca y si de pulgones. Dichos casos podrían ser explicados por la presencia del virus del amarilleo de las cucurbitáceas transmitido por pulgones (CABYV) descrito en el campo de Cartagena en 2003 como el principal responsable de los amarilleos de melón y calabacín, y recientemente descrito en nuestra zona.

Afecta a los cuatro tipos principales de cucurbitáceas cultivadas en nuestra zona: calabacín, melón, pepino y sandía. Los síntomas que produce son básicamente amarilleo e hinchamiento inicialmente de las hojas más viejas, que posteriormente va subiendo hacia hojas más jóvenes (Figura 44). La clorosis es inicialmente suave, en manchas verde-claro discretas internerviales, que van uniéndose y aclarándose hasta alcanzar un amarillo brillante intenso en la hoja, solo alterado por el color verde de los nervios que suele mantenerse. En frutos no se manifiestan síntomas aunque suele describirse pérdida de producción.

**Figura 44. Clorosis de las hojas producidos por CABYV**



Se transmite por pulgones tales como *Myzus persicae* y *Aphis gossypii* y no se transmite mecánicamente. Muestra como hospedadores alternativos a los mencionados, otros tales como la remolacha y la lechuga, además de diferentes plantas silvestres que aseguran la supervivencia del virus en el campo.

#### 4.6. Virus transmitidos por vectores del suelo

Además de los virus transmitidos por contacto o por vectores aéreos, vistos en los capítulos anteriores, hay otros virus transmitidos por vectores del suelo, o incluso por suelo sin vectores conocidos hasta el momento. Dentro de los vectores establecidos a nivel del suelo, los más destacables son algunos hongos tales como especies del género *Olpidium*, y también nematodos. En el caso de la zona de Almería, el virus transmitido por esta vía, y que llegó a tener una notable importancia en la década de los 90, es el conocido como «virus del cribado del melón». Este virus es transmitido por el hongo *Olpidium bornavanus*.

##### 4.6.1. Virus del moteado necrótico o del «cribado» del melón (*MNSV*: *melón necrotic spot virus*)

El virus del cribado del melón (*MNSV*) está descrito como patógeno de melón, pepino y sandía pero presenta distinta sintomatología según zonas o climatología, lo que se justifica por la presencia de diferentes cepas virales. Parece afectar más en otoño y primavera.

El melón es el cultivo más afectado. El síntoma que da nombre al virus es el de un moteado necrótico de las hojas que empieza como un salpicado de manchas cloróticas pequeñas que rápidamente se vuelven necróticas, con un color dorado claro-oscuro (Figura 45), y que pueden acabar cayendo dando un aspecto de «cribado» a la hoja. También puede producir una necrosis de la nervadura de la hoja con aspecto de «enrejado». En el tallo, peciolo y pedúnculos, se observan estrías necróticas de un tono normalmente dorado. En la zona del hipocotilo, cuello o base del tallo, se puede observar también una necrosis (Figura 46) que puede ser confundible, si no se tiene este virus en cuenta, con los daños producidos por *Dydymella bryoniae* (*Mycosphaerella melonis*), e incluso, con *Fusarium oxysporum*. En ocasiones, frecuente en Almería, solo se observa el síntoma del cuello o base del tallo y un marchitamiento de la planta. También puede aparecer pardeamiento claro de los haces vasculares así

como un sistema radicular más reducido y ligeramente pardeado. El fruto no suele mostrar síntomas pero también puede aparecer acorchado y moteado en la corteza y la pulpa. En sandía la enfermedad es similar en algunos aspectos a la sufrida por el melón, sobre todo por el marchitamiento y muerte de las plantas poco antes o durante la recolección, a veces con una clorosis previa de las hojas viejas, y ocasionalmente también con necrosis del hipocotilo. El fruto puede presentar placas necróticas y necrosis internas, visibles bajo la corteza. En el caso de pepino, aunque es sensible al virus, en nuestra zona no suele mostrar síntomas o son síntomas muy suaves, sin daños en fruto.

**Figura 45. Manchas cloróticas y necróticas en melón**



**Figura 46. Estrías necróticas en el cuello de una planta de melón**



La transmisión del virus se produce a través del hongo *Olpidium bornavanus*, anteriormente conocido como *Olpidium radicale*, vía por la que el virus unido al hongo puede permanecer en suelo seco durante mucho tiempo. También se transmite por semilla, forma en la que se puede transferir de unas áreas a otras, si bien se considera que el tratamiento de temperatura habitualmente aplicado a las semillas sirve como método de desinfección. Dentro del cultivo también se considera la posibilidad de dispersión del virus entre plantas a través del manipulado de las plantas durante las operaciones de poda.

*Olpidium bornavanus* un hongo acuático zoospórico que se transmite con mucha facilidad por agua, donde se mueve y dispersa a través de las zoosporas que produce. Parásito obligado, infecta las raíces de melón y otros hospedadores donde se reproduce a través de la formación de estructuras reproductoras que forman dichas zoosporas y unos quistes de resistencia gracias a los cuales permanecen en el suelo durante años. Son estos quistes los que confieren al hongo su elevada resistencia a los tratamientos físicos (temperatura) y químicos.

cos (diferentes fungicidas) y por lo tanto su difícil control. El virus MNSV que se multiplica en la planta se une a nivel de las raíces a las zoosporas del hongo a través de las cuales infecta nuevas raíces. Ampliamente extendido en la zona de Almería, la eliminación del suelo de dicho hongo es muy difícil ya que no hay tratamientos totalmente efectivos contra el mismo. Todo lo más que se puede conseguir es la reducción de la fuente del inóculo, de forma que se puede controlar parcialmente la incidencia de la enfermedad aunque no su total erradicación.

## 5. Control de las enfermedades

El mejor control de las enfermedades vegetales se consigue con un sistema integrado de medidas que vayan dirigidas al control de la entrada, dispersión y mantenimiento del patógeno en los cultivos, con la idea siempre de que un buen sistema de prevención de la enfermedad será la única forma de mantener dicho control. Existe una larga lista de productos químicos disponibles para muchas de las enfermedades indicadas, pero en muchos casos la efectividad de los mismos no es total. Además hay numerosos casos, como es el de los virus, para los que no hay tratamientos químicos. Y finalmente, hay otros casos, sobre todo determinados hongos, en los que se desarrollan fácilmente cepas resistentes a los compuestos químicos, pasando a ser inefectivos en un breve periodo de tiempo desde que se inicia su uso.

Por otro lado, aunque cada enfermedad tiene sus propias características epidemiológicas, es cierto que muchas de ellas presentan algunos factores comunes cuyo control permitiría controlar, en gran medida, varias enfermedades simultáneamente.

Vamos, por tanto, a recopilar algunas de las recomendaciones que se podrían hacer para el control de las enfermedades en general, con algunas consideraciones particulares.

### 5.1. Control de la entrada del patógeno

Para evitar la entrada de los patógenos en el invernadero habría que, en general, tomar las siguientes medidas comunes a la mayoría de las enfermedades:

- Emplear semillas comerciales tratadas y con sus correspondientes pasaportes fitosanitarios.

- Controlar la sanidad de las plántulas del semillero y verificar que las plántulas no portan los patógenos descritos en el momento de su trasplante.
- Desinfectar todas las herramientas que vayan a entrar en el invernadero.
- No intercambiar personal de diferentes invernaderos, y si se hace disponer de ropa específica para los diferentes invernaderos, incluyendo los zapatos.
- Limitar la entrada de personas, maquinaria o utensilios sin limpiar y desinfectar.
- Controlar los posibles hospedadores silvestres y restos vegetales del entorno.

En el caso de virus transmitidos por vectores aéreos (trips, mosca blanca, pulgones), lo principal que hay que hacer, aparte de lo comentado arriba, es evitar la entrada de los vectores en el invernadero. Para ello habrá que aplicar todos los métodos descritos con este fin:

- Colocar mallas en las bandas y cumbreras del invernadero con una densidad mínima de 10 x 20 hilos /cm<sup>2</sup>, excepto cuando no permitan una adecuada ventilación del invernadero.
- Colocar de doble puerta o puerta y malla (mínimo 10 x 20 hilos/cm<sup>2</sup>) en las entradas del invernadero.
- La estructura del invernadero debe mantener una hermeticidad completa que impida el paso del insecto vector.
- Colocar trampas cromotrópicas amarillas para seguimiento y captura de vectores.

Además habrá que:

- Controlar la sanidad del suelo y del agua.

## 5.2. Control de la dispersión del patógeno caso de que entrara en el invernadero

Para controlar la dispersión del patógeno dentro del invernadero, el ideal sería tener implantadas de rutina las siguientes medidas, incluso aunque no haya indicios de la entrada de los patógenos. Los focos iniciales tardan en detectarse y si no se toman las medidas de forma preventiva antes de su aparición, para cuando se detecte su presencia puede ser ya tarde.

- Procurar una buena ventilación de las instalaciones, ya que muchos patógenos requieren como condiciones ambientales óptimas una humedad relativa elevada y/o agua libre sobre la superficie vegetal.
- Así, en las épocas más frías y menos soleadas del año, el riego a primeras horas de la mañana puede ser recomendable, para permitir que la humedad se seque durante el día
- Aplicar riegos equilibrados que permitan un buen desarrollo de las plántulas y en el que las raíces no se vean debilitadas

Para evitar la dispersión de aquellos patógenos que se transmiten por contacto tales como los virus de contacto (*Tobamovirus*, *PepMV*) o manipulado, como las bacterias y hongos vasculares, o las bacterias y hongos aéreos que en definitiva también se pasan por contacto:

- Trabajar avanzando por líneas y siempre con el mismo sentido de trabajo en el invernadero
- Desinfectar, al menos entre líneas, aperos, guantes, etc. bien con lejía, u otros desinfectantes análogos válidos para cualquier patógeno.
- En el caso de los virus transmitidos por vectores:
  - Control del insecto vector mediante la implantación de un buen sistema de control biológico de plagas. El control químico permitido es ya prácticamente inefectivo en muchos casos.
- Sea la enfermedad que sea, cuando aparezcan los primeros focos,
  - Hacer un diagnóstico que permita identificar perfectamente el agente causal del problema para saber cómo actuar

- Eliminar al final de la jornada, cuando ya no se va a trabajar más en el invernadero, las primeras plantas con síntomas que aparezcan, introduciéndolas en sacos grandes en el mismo lugar donde se arrancan. Se deben sacar del invernadero en dichos sacos sin tocar en ningún momento las plantas sanas, para evitar nuevas contaminaciones. Estas plantas no deben quedar en el entorno de fincas de cultivo. Y por la tanto deben ponerse en los contenedores controlados de recogida de residuos
- En el caso de enfermedades producidas por virus por contacto, o por bacterias vasculares tales como *Clavibacter michiganensis subsp. michiganensis*, o *Ralstonia solanacearum*, incluso por hongos vasculares tales como *Fusarium oxysporum*, se recomienda eliminar de igual manera las plantas en contacto con la planta enferma, dado que también pueden estar ya infectadas aunque no muestren todavía síntomas.
- En estos casos marcar una zona de cuarentena alrededor de la zona afectada, de manera que se trabaje en ella lo menos posible y de hacerlo, que sea al final de la jornada. El hecho de que las plantas infectadas por ejemplo por virus, o por las bacterias y hongos vasculares mencionados, puedan no mostrar síntomas durante parte del ciclo de cultivo conlleva que el grado de dispersión de estos patógenos pueda ser muy elevado para cuando se detecte el primer caso, y que las medidas de control parezcan inefectivas.
- En algunos casos, el empleo de control químico es, probablemente, inevitable pero se pueden tener varias consideraciones al respecto. Es conveniente:
  - Tener un plan de actuación que considere la posible necesidad de dar aplicaciones preventivas frente a determinados patógenos agresivos cuando se dan las condiciones óptimas para su desarrollo.
  - Obtener una correcta identificación del agente causal de un problema para aplicar el tratamiento químico adecuado y evitar el empleo de formulados químicos ineficaces o innecesarios.

- Conocer los grados de resistencia de los patógenos a dichos compuestos, la alternancia que se puede establecer entre diferentes tipos de productos para evitar el desarrollo de resistencias, etc. puede ser de gran ayuda.
- En cualquier caso una forma de evitar las enfermedades es el empleo de variedades resistentes en los casos que las haya. Así:
  - Emplear variedades resistentes. Hay variedades resistentes o tolerantes para un amplio número de patógenos. Resistencias al *ToMV* en tomate, o al *PMMV* en pimiento, al *MNSV* en melón, o al *TSWV* en pimiento y tomate. Tolerancias al *TYLCV* en tomate, al *CYSDV* en pepino, al *CVYV* en pepino, o al *CMV* en varios cultivos. Resistencias a *Fusarium oxysporum*, *Verticillium*, *Podosphaera*, etc., todas son una buena opción para el control de estos patógenos. Siempre recordando que habrá razas de patógenos y resistencias a razas.
  - Alternativa en muchos casos a las resistencias, sobre todo cuando no existen, es el empleo de injertos resistentes, como es el caso de la sandía contra *Fusarium oxysporum* f.sp. *niveum*. Esta opción sirve sobre todo para patógenos del suelo, o por ejemplo en el caso del *PepMV* para evitar el síndrome del «colapso».

### 5.3. Control del patógeno entre campañas

Para erradicar un patógeno de un invernadero entre dos campañas se debe:

- Limpiar bien el invernadero con la eliminación de todos los restos vegetales de la finca. En el caso de bacterias y hongos vasculares, así como en el de los virus transmisibles por contacto, retirar también todo lo que se pueda del sistema radicular, especialmente la raíz principal.
- Eliminar malas hierbas u hospedadores silvestres, así como plantas del cultivo espontáneas que puedan actuar de reservorio para la siguiente campaña.

- Desinfectar los sistemas de riego, la estructura, etc. con desinfectantes o agua caliente. Muy importante para la mayoría de los patógenos que se transmiten a nivel del suelo y de los que pueden transportarse por agua, y los virus de contacto.
- La desinfección del suelo o de los contenedores de sustrato en cultivos hidropónicos que hay que realizar entre campañas dependerá del patógeno a controlar:
  - En el caso de las enfermedades víricas transmitidas por mosca blanca o pulgones, no es necesario realizar ninguna acción sobre este medio.
  - Si se trata de enfermedades víricas transmitidas por trips la desinfección del suelo por solarización puede ser buena para controlar las pupas de estos insectos.
  - En el caso de hongos y bacterias vasculares, la solarización del suelo es una medida necesaria, en el caso de los hongos para reducir el inóculo, en el caso de las bacterias para eliminarlas.
  - En el caso del *PepMV* la solarización en nuestras condiciones climáticas es también totalmente efectiva si se hace en verano (Junio a Agosto) y un periodo prolongado, con el invernadero totalmente limpio de restos vegetales, incluida la raíz principal de las plantas.
  - En el caso de los virus por contacto del grupo de los *Tobamovirus*, la solarización rebajará el inóculo pero no solucionará el problema, por lo que lo más recomendable será cambiar de cultivo o poner variedades resistentes al virus que se desea controlar.
  - Los invernaderos con una mayor complejidad estructural, con sistemas de cultivo hidropónico, instalaciones de calefacción, etc. tienen una mayor dificultad para conseguir una desinfección del invernadero con la solarización, así como aquellas fincas con más de un invernadero y que siempre mantienen alguno en producción, con el mismo cultivo. En estos casos puede ser recomendable alargar el periodo de desinfección, plantearse la simultaneidad de la parada del cultivo en todos los invernaderos.

- En el caso de los cultivos hidropónicos, la desinfección con solarización de los contenedores del sustrato es más difícil, poco efectiva con *Tobamovirus* u hongos tipo *Fusarium* y *Oidium*, y posible con bacterias vasculares y *PepMV*, aunque no segura al 100 %, razón por la que cambiar los contenedores o buscar otras alternativas complementarias tales como el empleo del injerto, o resistencias, y la rotación en el siguiente cultivo pueden ser convenientes, si no se quiere cambiar los contenedores.
- En aquellos casos en los que no haya seguridad de la desinfección de los suelos y no haya alternativa al cultivo con variedades resistentes, la rotación de cultivos siempre es una alternativa. Independientemente de esto, la rotación de cultivos cada cierto tiempo es una práctica recomendable para evitar el agotamiento del suelo por patógenos.

## Referencias bibliográficas

- ALVAREZ, A.; BARRERA, C.; EGEA, R.; AGUILAR, M. I.; GUIRADO, M. L.; SERRANO, Y. y GÓMEZ, J. (2002): «Nuevas enfermedades causadas por hongos de suelo en los cultivos de tomate, pepino y judía del sudeste andaluz»; en CUADRADO, M. y FERNÁNDEZ GARCÍA, C., ed.: *III Jornadas Nacionales de Semilleros Hortícolas*. Almería, FIAPA.
- BLANCARD, D. (2000): *Enfermedades del Tomate. Observar, Identificar, Luchar*. Ed. INRA y Mundi-Prensa; pp. 212.
- BLANCARD, D.; LECOQ, H. y PITRAT, M. (2000): *Enfermedades de las cucurbitáceas. Observar, Identificar, Luchar*. Ed. INRA y Mundi-Prensa; pp. 212.
- DAVIS, R. M.; SUBBARAO, K. V.; NAID, R. N. y KURTZ, E. A. (2002): *Plagas y enfermedades de la lechuga*. Madrid, ed. Mundi-Prensa.
- DÍAZ, J. R. y GARCÍA-JIMÉNEZ, J., eds. (1994): «Enfermedades de las Cucurbitáceas en España»; *Monografías de la Sociedad Española de Fitopatología* (1). Ed. Phytoma-España; pp. 155.
- ELORRIETA, M. A. (20011-20012): «Principales enfermedades víricas de los cultivos hortícolas bajo plástico de Almería»; *serie coleccionable: Almería en Verde* (90 a 99); pp. centrales.

- ELORRIETA, M. A. (20012-20013): «Principales enfermedades bacterianas y fúngicas de los cultivos hortícolas bajo plástico de Almería»; *serie coleccionable: Almería en Verde* (10a 109); pp. centrales.
- ELORRIETA, M. A. (2005): «Enfermedades bacterianas y fúngicas relevantes en semilleros hortícolas»; en CUADRADO-GÓMEZ, I. M.; GARCÍA-GARCÍA, M. C. y FERNÁNDEZ-FERNÁNDEZ, M. M., eds.: *Dirección Técnica de Semilleros Hortícolas*. FIAPA, Almería; pp. 269-290.
- ELORRIETA, M. A. (2006): «Identificación de enfermedades fúngicas hortícolas en semillero»; *Vida Rural* (228); pp 18-22.
- JONES, J. B.; STALL, R. E. y ZITTER, T. A. (2001): «Plagas y enfermedades del tomate»; Madrid, ed. Mundi-Prensa; pp. 74.
- JORDÁ, C.; ARIAS, M.; TELLO, J. y DEL MORAL, J. (1998): *La sanidad del cultivo del tomate. Fisiopatías, plagas, enfermedades, malas hierbas, y su relación en el agrosistema*. Valencia, ed. Phytoma-España; pp. 399.
- LÓPEZ, M.; GARCÍA, J. P.; NAVAS, J. A.; ORTIZ, F.; JUSTICIA, L.; FERNÁNDEZ, M. y LÓPEZ, J. (2001): *Cultivos Hortícolas II. Plagas y enfermedades*. Consejería de Agricultura y Pesca, Junta de Andalucía; pp. 187.
- MAROTO, J. V.; GÓMEZ, A. y BAIXAULI, C. (2000): *La lechuga y la escarola*. Caja Rural Valencia y ed. Mundi-Prensa, .
- MEMORIA DE ACTIVIDADES (2004): *Laboratorio de Sanidad Vegetal (Almería)*. Consejería de Agricultura y Pesca, Junta de Andalucía; pp. 87.
- MESSIAEN, C. M.; BLANCARD, D.; ROUXEL, F. y LAFON, R. (1995): *Enfermedades de las hortalizas*. Madrid, ed. Mundi-Prensa; pp. 576.
- NAMESNY, A. (1996): «Pimientos»; *Compendios de Horticultura* (9). Tarragona, ediciones de Horticultura SL; pp. 160.
- RECHE, J. (1991): *Enfermedades de hortalizas en invernaderos*. Ed. Servicio de Extensión Agraria. Madrid, MAPA; pp. 189.
- RECHE, J. (1994): *Cultivo de la sandía en invernadero*. Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos Agrícolas de Almería; pp. 243.

# Gestión integrada de plagas y enfermedades en pimiento

*Francisco Salvador Sola*

Nature Choice SAT

## 1. Definición

Antes de entrar en detalle conviene definir que entendemos por manejo integrado de plagas y enfermedades. Consiste en combinar adecuadamente todas las técnicas agronómicas, físicas, biológicas y químicas disponibles para mantener controladas las plagas y enfermedades, evitando los daños sobre el cultivo al tiempo que se disminuyen al máximo las aplicaciones de plaguicidas químicos.

Esta idea general puede aplicarse a cualquier cultivo, desde un campo de cereal a un invernadero de alta tecnología, pero —evidentemente— el enfoque ha de ser distinto. A la hora de abordarlo en un cultivo de pimiento bajo invernadero el primer paso es identificar los problemas y conocer en profundidad el ciclo de vida del agente causal de cada uno de ellos. Después han de diseñarse estrategias preventivas que minimicen el riesgo y establecer medidas físicas o culturales que limiten el acceso o el desarrollo de los agentes fitopatógenos. El siguiente paso ha de ser la identificación de la fauna auxiliar, tanto espontánea como liberada artificialmente, que está presente en el cultivo. Por último, se considerará el uso de fitosanitarios químicos para cubrir las deficiencias del sistema de manejo integrado —plagas o enfermedades para las que no se disponga de herramientas biológicas, desajustes poblacionales de plagas, épocas de cultivo donde no sea posible establecer fauna auxiliar, etc.—.

Pero en cualquier caso siempre se ha de seguir el orden descrito, priorizando el resto de las herramientas sobre el uso de plaguicidas químicos.

PREVENCIÓN → CONTROL BIOLÓGICO → CONTROL QUÍMICO

En esta exposición se seguirá el orden descrito, centrándose en cada uno de los problemas concretos, describiendo el ciclo vital del agente causal, las medidas preventivas que pueden establecerse, las técnicas de control biológico

disponibles y –por último– las herramientas químicas compatibles de las que disponemos en España.

## 2. Identificación de los problemas fitopatológicos en pimiento

Pueden agruparse en tres grandes grupos:

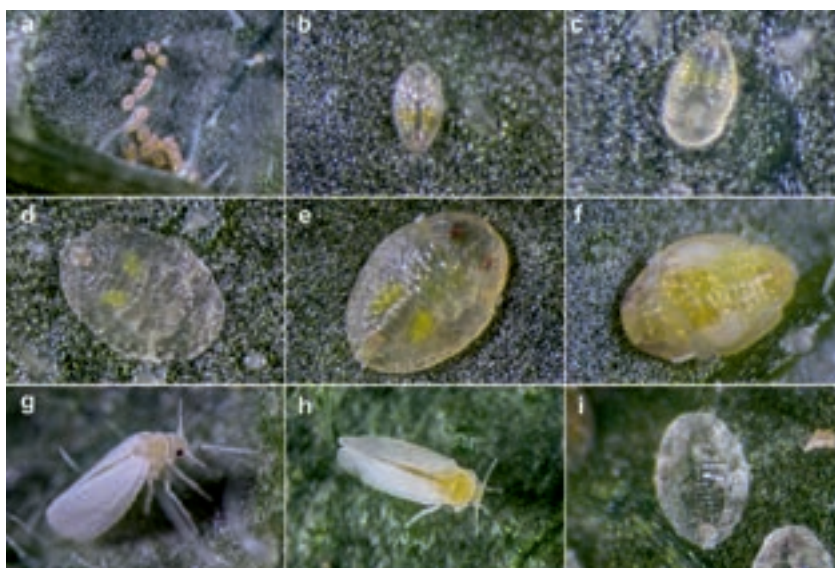
- *Plagas principales.* Se trata de plagas de aparición muy frecuente, normalmente muy destructivas y –algunas de ellas– vectores de fitovirus. En este grupo tenemos a la mosca blanca del tabaco (*Bemisia tabaci*), el trips occidental de las flores (*Frankliniella occidentalis*), varios ácaros fitófagos (*Tetranychus* spp. y *Polyphagotarsonemus latus*), diversas especies de orugas defoliadoras y a los áfidos o pulgones.
- *Plagas secundarias.* Se trata de insectos fitófagos que no suelen aparecer en el cultivo cuando se utilizan insecticidas químicos de amplio espectro, pero que comienzan a prosperar al reducirse los tratamientos. Si sus poblaciones se disparan pueden ocasionar daños importantes a la cosecha, por lo que es necesario identificarlos y mantenerlos controlados. En los pimientos de Almería han aparecido problemas con varias chinches (*Nezara viridula* y *Creontiades pallidus*), algunos pseudocócidos (*Phenacoccus solani* y *Phenacoccus madeirensis*), un díptero (*Atherigona orientalis*) y un cicadélido (*Empoasca* spp.).
- *Enfermedades fúngicas.* Hongos fitopatógenos que afectan al pimiento provocando graves daños en el cultivo o la cosecha. Obviando los hongos de suelo, las dos principales enfermedades son la oídio de las solanáceas (*Leveillula taurica*) y la podredumbre gris (*Botrytis cinerea*).

## 3. Mosca blanca del tabaco (*Bemisia tabaci*)

La mosca blanca del tabaco es una de las grandes plagas a nivel mundial desde la aparición hace 25 años del famoso biotipo B; aunque en el Mediterráneo no tenemos problemas en pimiento con virus transmitidos por *Bemisia tabaci*, lo cierto es que este insecto se desarrolla especialmente bien sobre este cultivo, causando graves daños. Sus huevos son alargados y blanquecinos –tornándose anaranjados al desarrollarse– y se disponen aislados o en grupos irregulares formando arcos de círculo. De ellos surge un pequeño estadio móvil (E1) que, tras buscar un sitio apropiado, se fija a la hoja y pierde la mo-

vilidad. Después de pasar por tres estadios inmaduros (E2, E3 y E4) emerge un adulto con las características típicas de los aleiródidos, fácil de diferenciar de otras especies por la disposición de sus alas en tejadillo, quedando sobre la hoja queda un exuvio transparente con una típica salida en forma de T. La inmovilidad de los estadios inmaduros y la costumbre de los adultos de migrar hacia las zonas apicales del cultivo originan una típica distribución vertical de la plaga en los distintos pisos del cultivo, con adultos, huevos y estadios iniciales en los ápices; estadios avanzados en los pisos medios y exuvios en los pisos más bajos. La duración de este ciclo vital depende de la temperatura y la planta huésped, siendo en pimiento de unos 22 días a 25 °C.

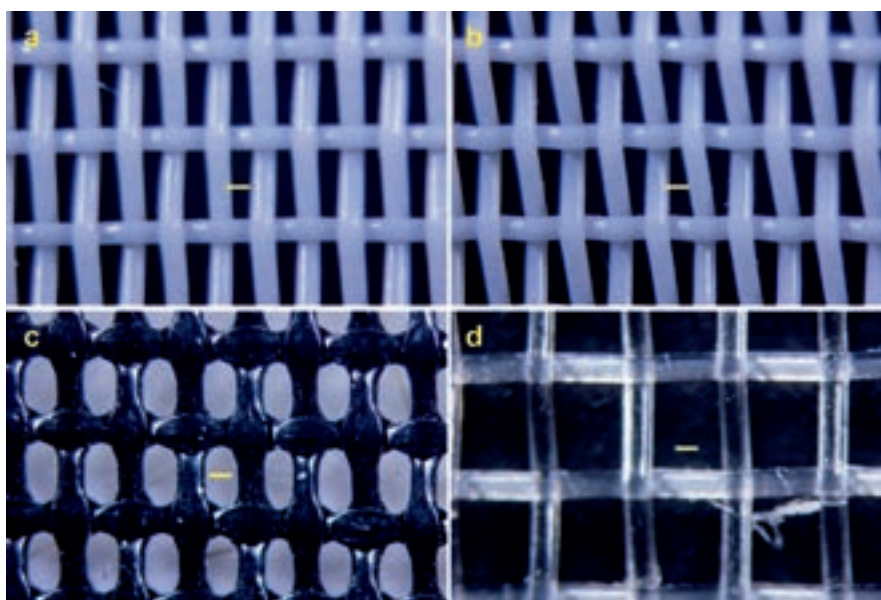
**Figura 1. Ciclo vital de *Bemisia tabaci*: puesta (a), estadio 1 móvil (b), estadio (c); Diversos grados de desarrollo del estadio (d) y (e); Estadio 4 –también llamado pupa o ninfa– (f), adulto –nótese la disposición de las alas en tejadillo típica de esta especie– (g) y (h), Exuvio –nótese el agujero de salida en forma de T– (i)**



Las medidas preventivas han de basarse en la hermeticidad de los invernaderos, lo cual es complicado debido al pequeño tamaño de los adultos. La única forma de lograrlo es utilizar en los cerramientos mallas antiinsectos lo más tupidas posibles; pero las limitaciones que imponen las exigencias de ventilación dificultan el uso de mallas con la densidad suficiente para impedir el paso de los adultos invasores. Se considera que un tamaño de agujero de

aproximadamente 0,25 mm impide el paso de la mayoría de los adultos de *Bemisia tabaci*, tamaños que solo alcanzan las mallas de muy alta densidad –de al menos 20 x 10 hilos por cm<sup>2</sup>–, que no suelen usarse en invernaderos comerciales. Dado que es imposible impedir el acceso a los adultos, la principal estrategia preventiva es capturarlos antes de que alcancen el cultivo usando trampas cromotrópicas de color amarillo; sin embargo el uso de las trampas ha de limitarse a las primeras semanas, debiéndose retirar la mayor parte antes de liberar las chinches auxiliares, pues de lo contrario gran parte de ellos también serían capturados.

**Figura 2. Vista en detalle de mallas agrícolas de distintas densidades: a) 22 x 10; b) 20 x 10; c) 16 x 10 y d) 8 x 10.**



\* En cada Figura se ha marcado un segmento que se corresponde con 0,25 mm; solo las mallas de densidad 20 x 10 o superior impiden el paso de los adultos de *Bemisia tabaci*.

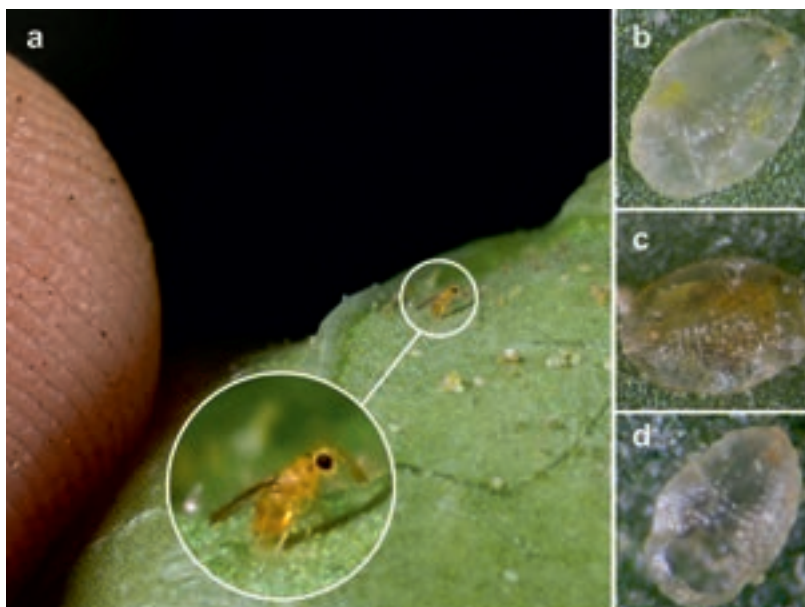
Ante la falta de estrategias físicas o agronómicas para evitar la aparición de esta plaga, no queda otra alternativa que establecer en el cultivo de forma preventiva al ácaro depredador *Amblyseius swirskii*. Este fitoseido tiene hábitos omnívoros y puede alimentarse de polen en ausencia de plaga, por lo que se libera apenas aparecen las primeras flores. La liberación se realiza normalmente mediante sobres de liberación lenta, que actúan como pequeñas biofábricas.

cas individuales que liberan progresivamente ácaros al cultivo durante varias semanas. Hay que tener en cuenta que *A. swirskii* solo depreda el huevo y el primer estadio de *Bemisia tabaci*; los estadios ninfales más avanzados pueden ser controlados por varias avispa parásitas, en especial por el afelínido *Eretmocerus mundus*. Dado su pequeño tamaño, es difícil ver a las avispas adultas en el cultivo; pero su presencia puede detectarse observando las ninfas y exuvios de mosca blanca, que muestran características específicas si están o han sido parasitadas por *E. mundus*. Sin embargo, la acción de estas avispas parásitas es lenta, y antes de que lleguen a controlar la plaga suelen aparecer melaza y ne-grilla sobre las hojas del cultivo. En las hojas cubiertas de melaza el *Amblyseius swirskii* no se establecerá correctamente por lo que, al dispararse en ellas la población de plaga, actuarán como foco de infestación para el resto del cultivo. Es fundamental que la liberación de los ácaros depredadores se realice cuanto antes, y que en ese momento la población de mosca blanca –y en especial la de estadios ninfales más avanzados– sea lo más baja posible.

**Figura 3. Ciclo vital de *Amblyseius swirskii*: a) Huevo; b) Larva; c) Protoninfa; d) Deutoninfa; e) Adulto; f) Grupo de adultos y puestas en hoja de pimiento**



**Figura 4. *Eretmocerus mundus*: avispa adulta en hoja de pimiento (a); estadio 3 de *B. tabaci* parasitado por *E. mundus* –puede observarse que los micetomas están desalineados, por efecto de la actividad del parasito– (b); pupa de *E. mundus* próxima a la eclosión dentro de la cutícula de un juvenil de *B. tabaci* (c) y exuvio del que ha salido una avispa, con una típica salida circular (d)**



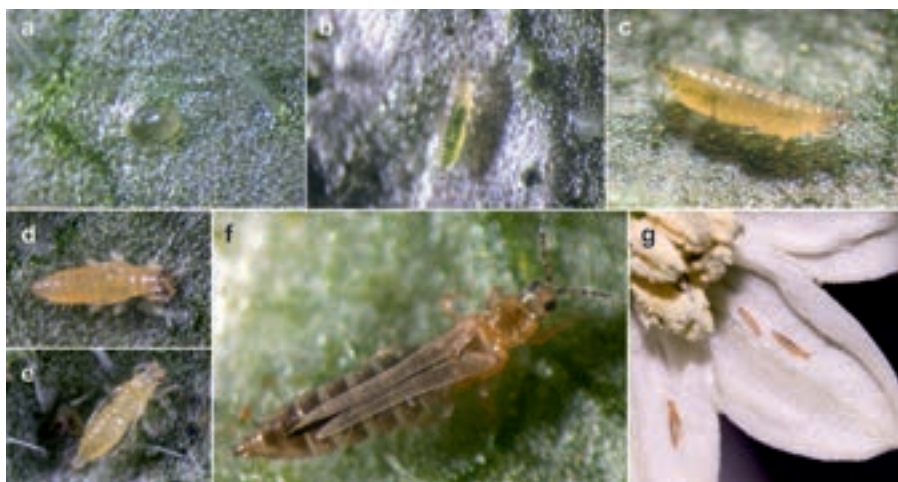
Y ahí entra en juego la lucha química con insecticidas. En primer lugar hay que tener en cuenta que los neonicotinoides –*acetamiprid*, *imidacloprid*, *tiacloprid* y *tiametoxam*– utilizados en control químico contra las moscas blancas son extremadamente tóxicos y residuales para el *Orius laviegatus*<sup>1</sup>; por ello han de ser eliminados de los programas de tratamientos. Antes de la suelta de auxiliares pueden utilizarse –respetando siempre sus plazos de espera correspondientes– *piridaben* como adulticida de contacto y *pimetrocina* como adulticida-larvicida sistémico. Tanto antes como después de la liberación de los auxiliares –para corregir desajustes– pueden utilizarse *espiromesifeno* y *piriproxifen* como ovicidas, *espirotetramat* como larvicida, y jabones potásicos y fosfóricos –en función del pH del agua– como adulticidas. La materia activa a utilizar ha de escogerse en función de la estructura de la población de *B. tabaci* observada en el cultivo.

<sup>1</sup> Como veremos más adelante, el *Orius laviegatus* es básico para el control de tisanópteros.

#### 4. Trips occidental de las flores (*Frankliniella occidentalis*)

*Frankliniella occidentalis* causa daños directos al alimentarse sobre los frutos, pero su verdadera importancia como plaga se debe a su actuación como vector del tospovirus TSWV (*Tomato Spotted Wilt Virus*) uno de los problemas fitosanitarios más destructivos en pimiento. Este insecto coloca sus huevos incrustados en el tejido vegetal de hojas o pétalos. De ellos nace una larva que pasa por dos estadios larvarios (L1 y L2) similares en aspecto y forma pero muy diferentes en tamaño. Cuando el segundo estadio larvario alcanza su completo desarrollo migra hacia el suelo, donde pasa por dos fases ninfales (N1 y N2) hasta que –tras completar la metamorfosis– se transforma en el adulto, que migrará hacia las partes altas de la planta para alimentarse y reproducirse. La duración de este ciclo vital en pimiento puede estimarse en aproximadamente 15 días a 25 °C.

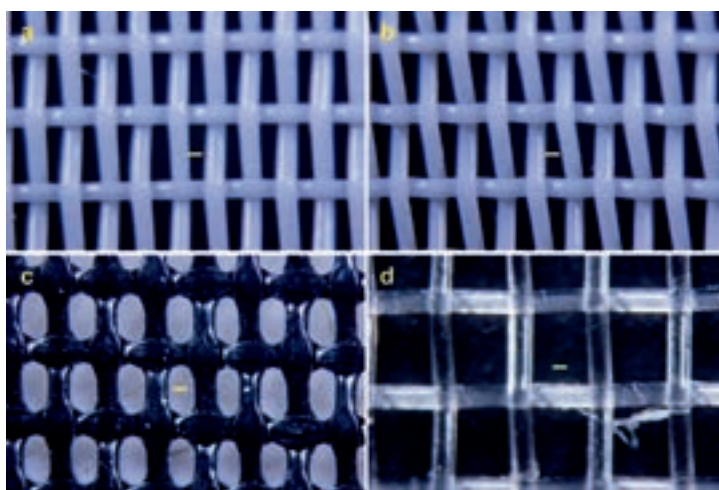
**Figura 5. Ciclo vital de *Frankliniella occidentalis*: a) puesta, b) larva 1, c) larva 2, d) prepupa, e) pupa, f) hembra adulta y g) adultos en flor de pimiento**



Las medidas preventivas basadas en la hermeticidad de los invernaderos son aún más complicadas en esta plaga. Solo con tamaños del agujero inferiores a 0,19 mm se evita la entrada de *Frankliniella occidentalis*, y estos solo se obtienen en mallas de muy alta densidad, muy caras y que suponen una enorme reducción de la ventilación. La captura de adultos con placas cromotrópicas azules es muy efectiva, pero se ha de restringir a las semanas anteriores

a la suelta de los auxiliares, pues también capturan mucho *Orius*. Otro aspecto importante a tener en cuenta es establecer una pausa entre cultivos suficientemente larga, pues la metamorfosis se realiza en el suelo (estados N1 y N2); si no dejamos al menos 15 días el invernadero sin cultivo y/o colocamos trampas comotrópicas los adultos recién emergidos infestarán rápidamente las plántulas desde el mismo momento de la plantación, complicando mucho el control integrado del trips.

**Figura 6. Vista en detalle de mallas agrícolas de distintas densidades: a) 22 x 10, b) 20 x 10, c) 16 x 10 y d) 8 x 10. En cada imagen se ha marcado un segmento que se corresponde con 0,19 mm; ninguna de ellas impide el paso de los adultos de *F. occidentalis***

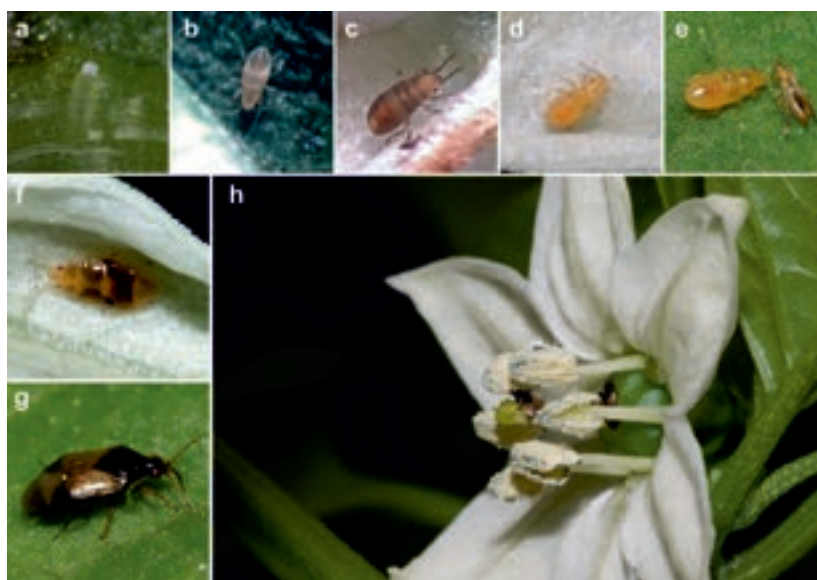


\* En cada imagen se ha marcado un segmento que se corresponde con 0,19 mm; ninguna de ellas impide el paso de los adultos de *F. occidentalis*.

La mejor y más eficaz estrategia de control es sin duda la utilización del chinche antocórido *Orius laviegatus*, combinado con el ácaro fitoseido *Amblyseius swirskii* que –aparte de controlar la mosca blanca– ejerce un control complementario sobre larvas de primer estadio de *F. occidentalis*. Esta chinche puede alimentarse de polen en ausencia de plaga por lo que –al igual que el *A. sirsioides*– puede y debe liberarse de forma preventiva una vez aparecidas las primeras flores; de esta manera se establecerá una población de depredadores que eliminará la población invasora de trips antes de que se establezca en el cultivo. Desde este punto de vista resulta fundamental favorecer la presencia

de flores en el cultivo lo antes posible. Además, la relación del *Orius laviegatus* con el polen no es secundaria; el polen es vital en la dieta de las hembras en desarrollo, pues de lo contrario su fertilidad –una vez alcanzada la edad adulta– será muy baja. El mantenimiento de una población de *Orius* capaz de controlar eficientemente el trips precisa mantener una floración suficiente durante todo el ciclo de cultivo, algo extremadamente difícil de conseguir durante el invierno en los ciclos a contraestación típicos de Almería.

**Figura 7. *Orius laviegatus*: a) huevo; b) ninfa 1; c) ninfa 2; d) ninfa 3; e) ninfa 4; f) ninfa 5; g) adulto y h) adultos en flor de pimiento**



El control químico de *Frankliniella occidentalis* es poco eficaz; y aún lo es menos en Almería, donde la población de este insecto muestra altos niveles de resistencia a todos los insecticidas empleados. Además, los insecticidas normalmente utilizados contra trips son muy tóxicos para *Orius* y, en algunos casos extremadamente residuales. Sin ir más lejos los piretroides habitualmente utilizados contra tisanópteros –*acrinatrin* o *deltametrin*– acaban con toda la población de antocóridos e impiden el establecimiento de una nueva población durante 10 o 12 semanas (¡¡casi 90 días!!); por ello es imposible utilizar piretroides en control integrado, incluso durante la crianza en semillero. Antes de la liberación de los auxiliares pueden emplearse *spinosad* y *lufenuron* –este último solo activo contra larvas–, pero ambas materias activas son alta-

mente tóxicas para los auxiliares y se ha de tener la precaución de respetar los plazos de introducción. Contra infestaciones muy tempranas de adultos de trips –típicas cuando se levantan cultivos vecinos– pueden utilizarse *clorpirifos* o *metil clorpirifos* hasta 15 días antes de la liberación de las chinches. En los últimos años se ha especulado con la acción larvicida del *espirotetramat*, producto compatible con auxiliares; esta materia activa causa una reducción de un 40 % de la población de *A. swirskii*, así que ha de ser utilizada con precaución.

## 5. Araña roja (*Tetranychus* spp.)

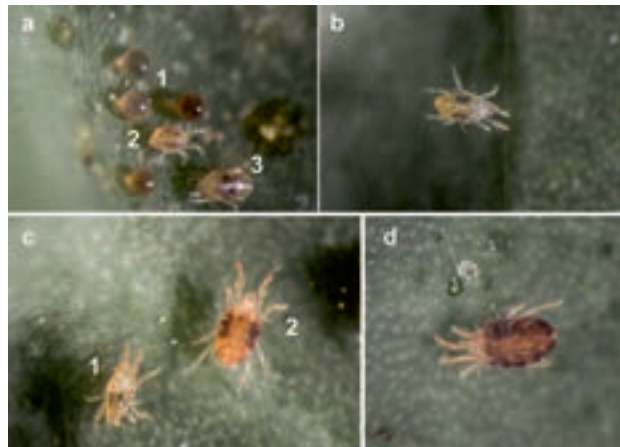
Considerada una plaga menor en los pimientos de Almería –debido a nuestro peculiar ciclo de cultivo–, es sin duda un gran problema en otras zonas de producción. En las colonias de este ácaro pueden encontrarse sus huevos esféricos, de los que surge una pequeña larva –con tres pares de patas– que ha de mudar dos veces –pasando por los estados de protoninfa y deutoninfa– antes de llegar a adulto. Antes de cada muda los ácaros pasan por un estado inmóvil, en el que no se mueven ni se alimentan. En los adultos existe un claro dimorfismo sexual entre machos y hembras –ya observable en estado de deutoninfa–. Aunque pueda parecer una frivolidad conocer los distintos estadios de este ácaro, la estructura y la movilidad de la colonia nos informa del estado de salud de la misma, nos ayuda a predecir su evolución y a tomar las medidas oportunas para su control.

Las medidas preventivas contra *Tetranychus* han de tomarse antes de la implantación del cultivo, y son imprescindibles si en la finca se han dado ataques con anterioridad. Es muy importante la eliminación de malas hierbas –en el invernadero y en sus alrededores– antes de implantar el cultivo, prestando especial atención a determinadas especies vegetales que resultan muy atractivas para este ácaro-plaga, como son la carrigüela (*Convolvulus arvensis*) o la malva (*Malva parviflora*). Resulta también muy eficaz la utilización de azufre en espolvoreo –en una dosis de 50 kg/ha– antes de la plantación.

El control biológico se basa en el fitoseido *Phytoseiulus persimilis*, un depredador específico de especies del género *Tetranychus*. Al ser específico, no puede utilizarse de forma preventiva; su control requiere la localización –lo más temprana posible– de las colonias de araña roja, que han de ser marcadas para liberar el auxiliar justo en ese punto, proceso que requiere atención y trabajo constante por parte de todo el personal de la finca. Afortunadamente, si la presión de *Tetranychus* no es muy alta *A. swirskii* puede controlarla efi-

cazmente en pimiento, evitando la formación de grandes colonias. En otras zonas de cultivo donde la presión de esta plaga es mayor se utiliza al fitoseido *Amblyseius californicus*.

**Figura 8. *Tetranychus* sp.:** a1) huevo; a2) larva; a3) protoninfa; b) deutoninfa; c1) macho adulto; c2) hembra adulta joven; d) hembra adulta madura



**Figura 9. *Phytoseiulus persimili*:** a) huevo; b) larva; c) protoninfa; d) deutoninfa; e) y f) adultos



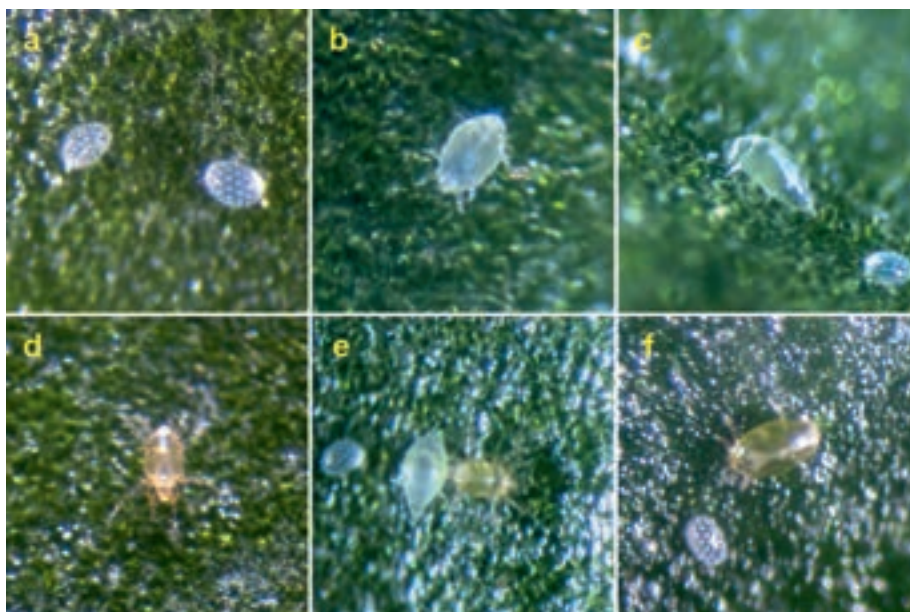
Actualmente el control químico de está plaga resulta muy fácil dada la alta eficacia del *espiromesifeno*, aunque existen otras materias activas eficaces

contra araña roja y compatibles con los auxiliares utilizados para otras plagas. Hay que tener en cuenta que la utilización de *espiromesifeno* es incompatible con el *Phytoseiulus persimilis*, pues esta materia activa es extremadamente tóxica para este depredador.

## 6. Araña blanca (*Polyphagotarsonemus latus*)

Se trata de un diminuto ácaro microscópico –menos de 0,2 mm– que provoca deformaciones en los ápices en crecimiento de la planta. Su morfología no puede ser observada a simple vista y los ácaros apenas se distinguen con un cuentahílos, requiriéndose un microscopio estereoscópico para su perfecta identificación. Sin embargo los síntomas en campo son lo suficientemente claros para que el problema pueda ser identificado, si se tiene suficiente experiencia.

**Figura 10. *Polyphagotarsonemus latus*: a) huevo; b) larva; c) falsa pupa; d) macho adulto; e) macho cargando la falsa pupa hembra y f) hembra adulta**



La prevención de este ácaro es complicada, y solo se puede abordar tratando de controlar su mecanismo de dispersión por el cultivo, que no es otro que la forésis. La araña blanca entra y se dispersa por los cultivos agarrada a las extremidades de otros insectos, que actúan como vector del ácaro. Esta forésis se ha demostrado en moscas blancas y trips; por lo que la mejor manera de controlar la dispersión de *P. latus* es controlar lo antes posible estas plagas. Además, existen fundadas sospechas de que *Bombus terrestris* también puede dispersar a este ácaro, por lo que es recomendable suspender la polinización natural si se detectan colonias de araña blanca en el cultivo.

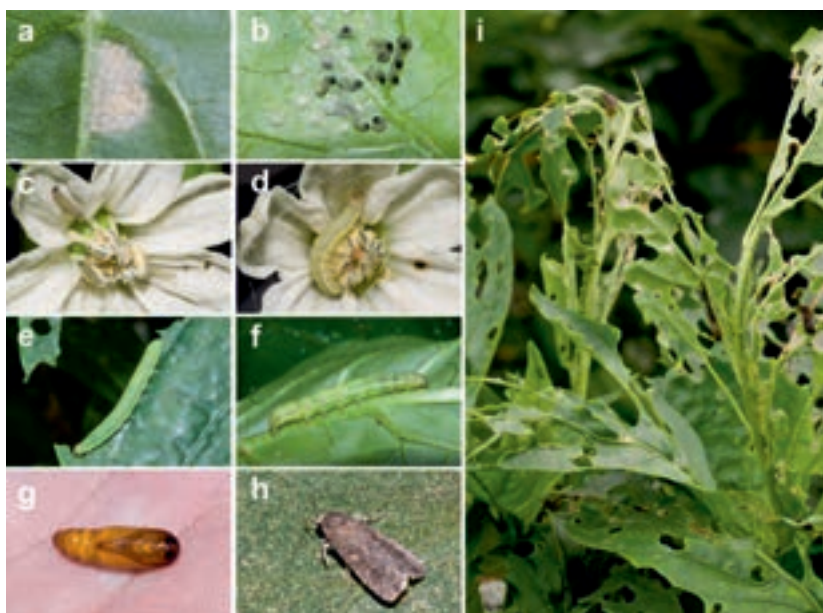
Aunque existen pruebas de la depredación de *A. swirskii* sobre araña blanca, el control en campo sobre focos establecidos no es suficientemente eficaz. La detección precoz de estos focos y su tratamiento localizado con azufre en polvo es el mejor método para controlar la plaga; pero si se dispersa puede recurrirse al *espiromesifeno*.

## 7. Orugas defoliadoras

En los cultivos de pimiento de Almería aparecen diversas especies de orugas defoliadoras que pueden dañar al cultivo o –lo que es más grave– a la cosecha. Es la familia noctuidae la que aporta más especies plaga; *Spodoptera exigua* es sin duda la especie más frecuente y problemática, pero también pueden aparecer otros noctuidos como *Spodoptera littoralis*, *Helicoverpa armigera* y *Chrysodeisis chalcites*. Por otra parte cada vez son más frecuentes los daños por *Platynota stultana* –un tortricido– aunque aún no se han reportado ataques importantes.

La prevención de estos lepidópteros ha registrado grandes avances en los últimos años gracias a la mejora de las técnicas de confusión sexual con feromonas. Estas técnicas están basadas en la liberación en el ambiente de una gran cantidad de alguno de los componentes de la feromona sexual del lepidóptero plaga; la presencia masiva de esta molécula difumina el rastro de olor de las hembras, impidiendo al macho encontrar a su compañera y evitando así la reproducción de la plaga. La salida al mercado del MateMatrix (SUTERRA) permite controlar totalmente las poblaciones de *Spodoptera exigua* e interferir con bastante eficacia en las de *Spodoptera littoralis* y *Chrysodeisis chalcites*. Sin embargo no afecta a las otras dos especies, que han de ser monitorizadas y controladas por otros medios.

**Figura 11. *Spodoptera exigua*: a) puesta; b) larva 1; c) larva 2; d) larva 3; e) larva 4; f) larva 5; g) pupa; h) adultos; i) daños en cultivo de pimiento**



Aunque existen gran número de depredadores y parasitoides de estas orugas defoliadoras, hasta ahora no se ha encontrado ninguno capaz de ejercer un buen control en campo. Sin embargo, actualmente disponemos de una buena combinación de armas químicas y biológicas para combatir las orugas. Después de la suelta de los auxiliares tenemos por un lado dos herramientas biológicas: el *Bacillus thuringiensis* y el Virus de la poliedrosis nuclear de *Spodoptera exigua* (VPNSp). Por otro una variedad de materias activas con distinto modo de acción: bloqueadores del canal de Ca –*clorantraniliprole* y *flubendiamida*–, aceleradores del proceso de muda –*tebufenocida*<sup>2</sup> y *metoxifenocida* y bloqueadores del canal de Na –*indoxacarb*<sup>3</sup>–. Además, antes de la suelta de los insectos auxiliares –respetando el plazo de introducción– pueden utilizarse otras familias de insecticidas contra orugas: activadores del canal del Cl –*emamectina*–, bloqueadores del receptor de la acetilcolina –*spinosad*– o Inhibidores de la síntesis de la quitina –*lufenuron*–. Es imprescindible alternar estas herramientas para, al tiempo que controlamos la plaga, evitar la aparición de poblaciones resistentes a las principales familias insecticidas; en este

<sup>2</sup> La *tebufenocida* solo es activa contra *Spodoptera exigua*.

<sup>3</sup> El *indoxacarb* afecta a algo menos de la mitad de las ninfas de *Orius laviegatus*, por lo que se considera un categoría 2. Para preservar al *Orius* solo se debe aplicar sobre cultivos con una población de chinches bien establecida, formada principalmente por chinches adultos.

sentido, el uso intensivo de las diamidas –*clorantraniliprole* y *flubendiamida*– durante las últimas campañas es un hecho muy preocupante.

## 8. Pulgones

Prácticamente anecdóticos durante los años de la lucha química, la llegada del control integrado devolvió a esta plaga la importancia capital que tiene en otras zonas agrícolas. En los pimientos de Almería suelen aparecer dos especies: *Myzus persicae* y *Aphis gossypii*, fácilmente distinguibles en campo observando el color de sus sifones (del mismo color del cuerpo en el caso de *Myzus persicae* o completamente negros en el de *Aphis gossypii*). Con menor frecuencia pueden aparecer otras especies, como *Aphis craccivora*, *Macrosiphum euphorbiae* y *Aulacorthum solani*.

La técnica preventiva por excelencia en el control de pulgones está basada en el control biológico y no es otra que la de plantas reservorio o banker-plant. Consiste en sembrar en el invernadero (al mismo tiempo que el cultivo) plantas de cereal –normalmente avena– en cantidad suficiente para establecer sobre ellas una especie de pulgón específica de las gramíneas –normalmente *Rhopalosiphum padi*– que servirá para establecer en el invernadero una población del principal parasitoide de los pulgones que atacan al pimiento –el braconido *Aphidius colemani*–, todo ello antes de que aparezca la plaga en el cultivo. Alrededor de estas plantas de cereal se establecerá toda una comunidad de depredadores de pulgón (coccinélidos, sífidos, cecidómidos, crisópidos...) que ayudarán en gran medida a controlar la plaga de áfidos, sobre todo en las épocas en que el *Aphidius* es menos eficaz.

Y es que *Aphidius colemani* –principal auxiliar en el control biológico de pulgones– tiene ciertas limitaciones. Las larvas de avispa que se desarrollan en el interior del pulgón son sensibles a las altas temperaturas estivales de los invernaderos; y además, en la naturaleza existen una serie de especies de avispas que parasitan las larvas de *Aphidius*, que a su vez están parasitando el pulgón –conocidas por ello genéricamente como hiperparásitos–. Estos dos factores hacen que desde finales de primavera hasta la llegada del otoño el control biológico de áfidos no pueda llevarse a cabo solo con parasitoides.

Mantener las poblaciones de pulgón, sobre todo las de *Aphis gossypii*, en niveles poblacionales bajos ha cobrado especial importancia a raíz de la recien-

te detección en Almería del PeVYV<sup>4</sup> –Pepper Vein Yelows Virus–, un polerovirus transmitido por varias especies de pulgón, pero de forma muy eficaz por esta especie de áfido. Se trata de un virus de transmisión persistente circulativa, que llega al cultivo a través de hembras aladas que adquirieron el virus de por vida al desarrollarse sobre plantas infectadas. Sin embargo, aún quedan muchos interrogantes sobre la importancia real de este virus y la influencia de las condiciones ambientales sobre la expresión y la gravedad de los síntomas.

El hecho de que debamos mantener lo más baja posible la población de pulgón no debe hacernos perder la perspectiva. Para pimiento, tres son los insecticidas compatibles con los insectos auxiliares que controlan otras plagas y registrados contra pulgón: *Pirimicarb*, *pimetrocina* y *espirotetramat*. El *pirimicarb* no es eficaz contra *Aphis gossypii*, y tanto *pimetrocina* como *espirotetramat* funcionan por ingestión, por lo que el áfido debe alimentarse de la planta para ingerirlos y morir; por tanto, la utilización preventiva de estos insecticidas no nos garantiza la ausencia de virus en el cultivo. Solo una combinación de todas las estrategias de control de áfidos puede asegurar un control adecuado del PeVYV.

**Figura 12. Especies de pulgón en los pimientos de Almería: a) *Myzus persicae*; b) *Aphis gossypii*; c) *Aphis craccivora*; d) *Macrosiphum euphorbiae* y e) *Aulacorthum solani***



<sup>4</sup> Hasta hace pocos meses la nomenclatura aceptada para este virus estaba en discusión. Síntomas muy similares se asociaban a virus distintos según el país donde fueron detectados; así se hablaba de PeVYV en Japón, de PYLCV –Pepper Yellow Leaf Curl Virus– en Israel y de PYV –Pepper Yellow Virus– en Turquía. Recientes estudios genéticos han puesto de manifiesto que todos los aislados están muy relacionados, aceptándose que se trata de cepas locales de un mismo virus que ha recibido definitivamente el nombre de Pepper Vein Yelows Virus.

**Figura 13. *Aphidius colemani* y plantas reservorio de cereales:**  
a) hembra de *A. colemani* parasitando un pulgón; b) larva de *A. colemani* dentro del pulgón; c) larva de *A. colemani* tejiendo el capullo dentro del pulgón antes de pupar; d) momias de *A. colemani*; e) plantas de avena con pulgón de los cereales (*Rhopalosiphum padi*); f) adulto del hiperparásito *Sirphophagus aphidivorus*; g) adulto del hiperparásito *Dendrocerus* sp.; h) adulto del hiperparásito *Pachyneuron* sp.; i1) momia con salida circular de *A. colemani*; i2) momia con irregular de un hiperparásito; j) y k) adulto y larva del sírfido *Eupleodes collarae*; l) adulto de coccinélido; m) larva de *Aphidoletes aphidimiza*; n) y o) adulto y larva de *Scymnus* sp.



## 9. Plagas secundarias

Por plagas secundarias entendemos aquellas que no suelen aparecer en control químico –debido a los efectos de los insecticidas aplicados para otras especies–, pero que en control integrado –debido a la reducción de tratamientos– aparecen y prosperan en los cultivos de pimiento. Si las poblaciones de

estos insectos no son detectadas y controladas a tiempo los daños que ocasionan pueden llegar a ser graves, por lo que resulta fundamental su detección precoz en campo –tarea en la que son decisivos los propios trabajadores de la finca– y conocer las técnicas de prevención y control apropiadas.

### 9.1. *Pseudococcidos (Phenacoccus solani y Phenacoccus madeirensis)*

Dos años después de la implantación masiva del control integrado en los cultivos de pimiento de Almería comenzaron los problemas con cochinillas algodonosas. La más conflictiva es sin duda *Phenacoccus solani*, especie partenogenética –sin machos– y vivípara –sin huevos– que infestaba los cultivos de otoño. Su presencia en los cultivos de Almería llegó a ser masiva, con infestaciones muy graves en algunos invernaderos. Al año siguiente comenzaron a aparecer colonias de otra especie sobre cultivos de pimiento en el ciclo de primavera; esta vez se trataba de *Phenacoccus madeirensis*, especie que se ajusta a un ciclo típico (con machos y ovisacos), aunque en este caso los problemas no fueron tan graves.

Los pseudococcidos son un grupo de insectos con una gestión biológica complicada. El control que ofrecen los parasitoides es muy lento, su producción en masa muy costosa y la identificación de las especies plaga –necesaria para elegir el parasitoide correcto– es difícil con los medios de los que se dispone en campo. Los depredadores son más generalistas, pero el único disponible comercialmente (*Criptolaemus montrouzieri*) no se adapta a las condiciones climáticas de los invernaderos. A pesar de eso, la aparición espontánea sobre *Phenacoccus solani* del encírtido *Leptomastix algirica*<sup>5</sup> propició la salida comercial al mercado de este parasitoide, con resultados dispares.

Aunque en la época en que apareció el control químico no era eficaz, la salida al mercado del *espirotetramat* –extremadamente eficaz contra estos insectos– ha supuesto en la actualidad la desaparición de los problemas con esta plaga.

<sup>5</sup> Sobre esta especie existe una gran controversia entre los entomólogos de Europa occidental y oriental. Los occidentales –encabezados por los británicos– la consideran como una variante más oscura de la especie *Leptomastix epona*, mientras que los orientales –encabezados por los israelitas– la consideran una especie totalmente distinta.

**Figura 14. Pseudococcidos en invernadero: a) colonia de *Phenacoccus solani*; b) hembra adulta de *P. solani*; c) adulta de *Leptomastix algerica*, parasitoide de *P. solani*; d) daños en pimiento por *P. solani*; e) colonia de *Phenacoccus madeirensis*; f) hembra adulta de *P. madeirensis* haciendo un ovisaco; g) Macho adulto de *P. madeirensis* junto a varios cocones de pupas macho; h) Daños de *P. madeirensis* en pimiento**



## 9.2. Hormigas (*Tapinoma nigerrimun*)

La reducción de tratamientos en los invernaderos posibilitó que varias especies de hormigas ocuparan el agroecosistema. La mayoría de las especies son forrajeadoras o cazadoras solitarias y no interfieren en el control de plagas; pero *Tapinoma nigerrimun* —una especie poligínica y con gran diversidad de hábitos— sí que puede ocasionar problemas. Aparte de la depredación directa sobre insectos auxiliares —principalmente ninfas de *Orius*—, esta especie pastorea las colonias de homópteros —pulgones, cochinillas y mosca blanca— dificultando su control.

No existen actualmente técnicas preventivas ni biológicas que impidan el acceso de las hormigas a las plantas. Tampoco disponemos de insecticidas químicos que permitan la eliminación de los hormigueros al tiempo que respeten la fauna auxiliar. La única herramienta para gestionar a *Tapinoma nigerimum* es utilizar cebos de *clorpirifos* aplicados sobre suelo; su uso no eliminará a las hormigas, pero si frenará su entrada y acabará forzando al hormiguero a buscar fuentes de comida alternativa.

### 9.3. *Panderola* (*Nezara viridula*)

Se trata de un chinche pentatómido de gran tamaño –algo menor de dos centímetros de largo– que causa daños alimenticios en los frutos, llegando a depreciarlos totalmente. En ciclos de otoño muy tempranos y ciclos de primavera se le considera una plaga muy grave, que puede producir pérdidas de producción muy importantes.

*Nezara viridula* coloca sus huevos en plastones, disponiéndolos en forma de panal de abejas. Tras la eclosión se suceden los tres primeros estadios ninfales (N1, N2 y N3) con diseños en colores blanco y negro; durante estos estadios iniciales las ninfas muestran un comportamiento gregario, manteniéndose agrupadas y alimentándose de los mismos frutos. En los dos siguientes estadios ninfales (N4 y N5) predominan los colores verdes y los individuos comienzan a dispersarse por los alrededores. Tras la última muda surgen los adultos –con un marcado dimorfismo sexual en cuanto al tamaño– que tras la cópula cerrarán el ciclo vital del insecto en aproximadamente 50 días. Todos los estadios del insecto excretan un líquido hediondo al ser molestados, que les sirve de mecanismo de defensa ante los depredadores.

Aunque se conocen parasitoides de huevos y adultos de *Nezara viridula*, la efectividad en campo de los mismos es demasiado baja para evitar los daños al cultivo. Por ello su manejo integrado ha de basarse en la prevención, cuidando la hermeticidad de los invernaderos –lo que no resulta tan complicado tratándose de un insecto de gran tamaño– y vigilando atentamente la aparición de focos en el cultivo. Si se detectan las chinches en los primeros estadios –cuando aún son gregarias– resulta fácil su control con tratamientos localizados con *landa-chialotrin*. Si la plaga se extiende por el invernadero no puede usarse esta materia activa, que es extremadamente tóxica tanto para

el *Orius* como para el *A. swirskii*; la única alternativa es el *tiametoxam*<sup>6</sup> que, aunque resulta tóxico para el antocórido, al menos respetará la población de ácaros depredadores.

**Figura 15. *Nezara viridula*: a) puesta; b) puesta eclosionada; c) ninfa 1; d) ninfa 2; e) ninfa 3; f) ninfa 4; g) ninfa 5; h) ninfa 6; i) cópula; j) Daños por alimentación en fruto de pimiento**

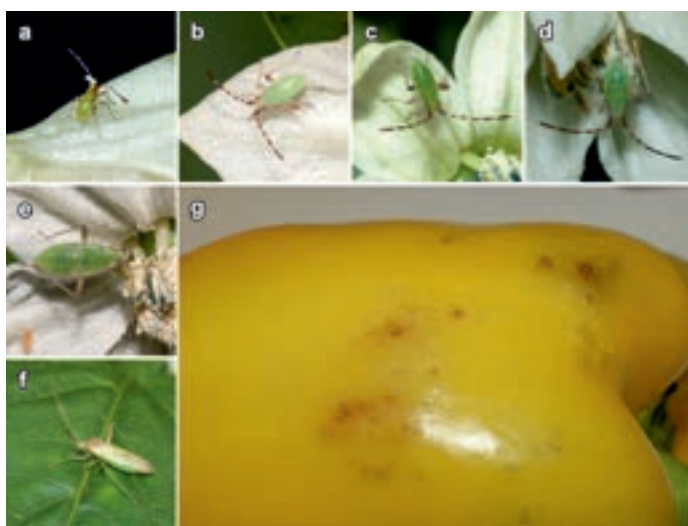


<sup>6</sup> Recientemente se ha aprobado por la Unión Europea la suspensión cautelar del *tiametoxam* –entre otros neonicotinoides– en determinados cultivos –entre los que por ahora no se encuentra el pimiento–; así que cabe esperar que la situación legal de esta materia activa pueda sufrir cambios en los próximos meses. En todo caso la aplicación de *tiametoxam* debe hacerse siempre de forma foliar, pues si se aplica por riego pueden quedar residuos en el suelo que impedirán el normal establecimiento del *Orius laviegateus* en el siguiente cultivo.

#### 9.4. Chinche mírida (*Creontiades pallidus*)

Esta chinche mírida –plaga tradicional de los cultivos de algodón españoles– causa problemas en todos los cultivos de pimiento con control biológico del arco mediterráneo. Desde que Almería cambió al control integrado en el año 2007 la intensidad de esta plaga ha ido en aumento, hasta convertirse en la principal plaga de este cultivo durante las últimas campañas. La alimentación de las chinches sobre los frutos inmaduros produce pequeñas zonas acorchadas en la pared del fruto, que al engordar se manifiestan como manchas de color oscuro, a veces rodeadas de un halo de color verde, especialmente graves en las variedades de pimiento de maduración en amarillo.

**Figura 16. *Creontiades pallidus*: a) ninfa 1; b) ninfa 2; c) ninfa 3; d) ninfa 4; e) ninfa 5; f) adulto; g) daños por alimentación en fruto de pimiento**



*Creontiades pallidus* coloca sus huevos inmersos en el tejido vegetal, por lo que son extremadamente difíciles de localizar. De ellos nacen pequeñas ninfas –con antenas y patas largas y ralladas– que pasan por 5 estadios ninfales (N1 a N5). Tras la última muda surgen los adultos –unos típicos míridos con largas antenas y un color entre verde y pardo– que miden aproximadamente un centímetro de largo. El ciclo se completa en aproximadamente 21 días.

La gestión preventiva de *Creontiades pallidus* ha de basarse en el control de la mosca blanca, pues son las altas poblaciones de esta plaga las que atraen a la chinche a nuestro invernadero. Como muchos otros míridos, este insecto es un fitófago facultativo que prefiere alimentarse de otros insectos (principalmente mosca blanca), pero que se alimentará del vegetal cuando se agote su presa. Si al principio del cultivo tenemos una población muy alta de *Bemisia tabaci*, las chinches entrarán en el invernadero para alimentarse de ella y, cuando la actividad de los insectos auxiliares diezme la población del aleiródido, causarán daños en el cultivo. Desde este punto de vista, medidas como la hermeticidad de las ventilaciones, los tratamientos químicos contra mosca blanca anteriores a la liberación de los auxiliares, y la liberación lo más temprana posible del *A. swirskii* –coincidiendo con las primeras flores– resultan fundamentales para un buen control de este mirido.

Si finalmente se alcanza una población muy alta de *Creontiades pallidus* puede rebajarse con aplicaciones con una mezcla de *indoxacarb* y *azadiractina*; pero no conviene abusar demasiado de estas aplicaciones, pues pueden reducir drásticamente la población de *Orius lavieigatus*.

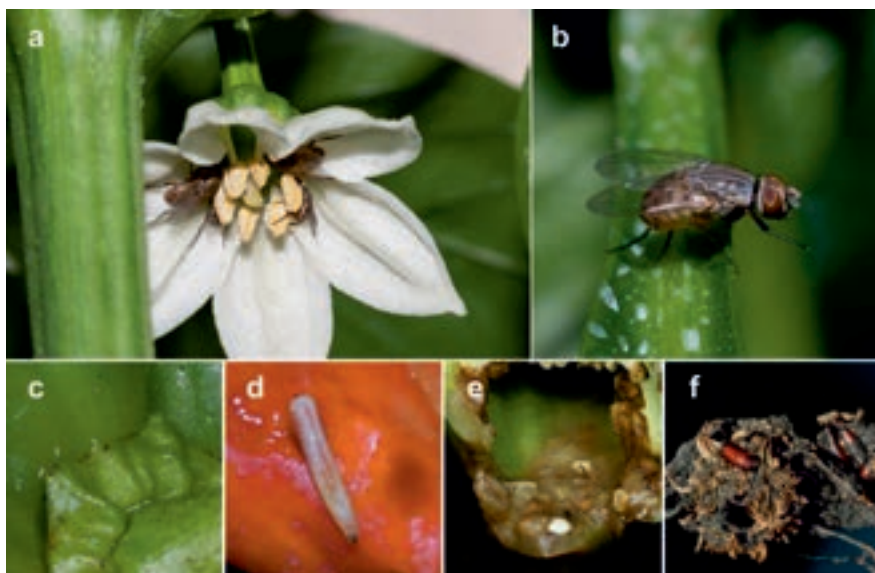
### 9.5. Mosca menor del pimiento (*Atherigona orientalis*)

Aunque no puede decirse que este díptero sea estrictamente una plaga, su proliferación en los cultivos asociada a la presencia de otras plagas y enfermedades puede causar pérdidas significativas en los cultivos de pimiento. Este hecho, unido a la ausencia de técnicas de control más allá del trapeo masivo con placas cromotrópicas, obliga a conocerlo y a evitar las condiciones de cultivo que pueden ocasionar estos problemas.

*Atherigona orientalis* es una típica mosca saprófita que abunda en el material vegetal en descomposición. Como cualquier insecto que complete su ciclo vital en este tipo de material, los adultos portan en sus patas microorganismos saprófitos –como la bacteria *Pectobacterium carotovorum*–. Si tenemos condiciones que favorezcan la presencia de frutos en descomposición –ataques fuertes de gusano en fruto, ausencia de higiene en el cultivo o sus alrededores,...– la población de *A. orientalis* se disparará en presencia de la bacteria. Si además tenemos una población importante de *Creontiades pallidus*, las heridas de alimentación producidas por las chinches serán aprovechadas por los dípteros para poner sus huevos, al tiempo que infectan estas heridas con la bacteria. El resultado será un fuerte ataque de bacteriosis en el cultivo, que no podrá ser

controlado con bactericidas hasta que se controle la población de *A. orientalis* que está actuando como vector.

**Figura 17. *Atherigona orientalis*: a) adultos en flor de pimiento; b) adulto; c) huevos; d) larva; e) larvas en fruto podrido; f) pupas en los restos secos de un fruto podrido**



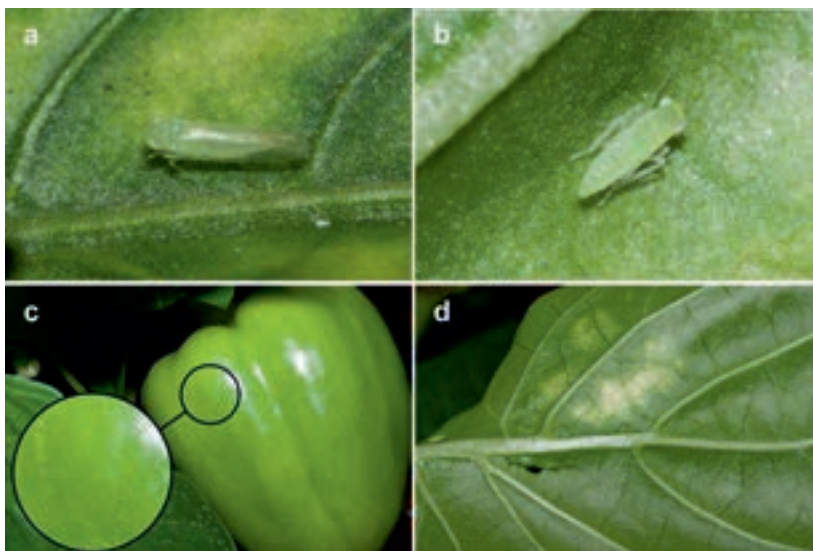
Los adultos de estos dípteros son típicas moscas de color pardo muy activas y fugaces –difíciles de distinguir en campo de otras moscas–, que suelen poner sus huevos alrededor del cáliz de los frutos. De ellos surgen larvas blancuecinas que pasan todo su ciclo larvario alimentándose del fruto en descomposición, nadando sin problemas en el caldo bacteriano. Una vez completado su desarrollo pupan en los restos vegetales putrefactos, de los que emergen los adultos. Al ser saprofitas pueden cerrar su ciclo en los frutos aunque estos hayan sido separados de la planta y arrojados fuera del invernadero, al que volverán los adultos una vez hayan completado la metamorfosis.

La mejor medida de control es extremar las condiciones higiénicas del cultivo, evitando la presencia de restos vegetales, y eliminar rápidamente los restos de poda y aclareo de los alrededores del invernadero, manteniéndolos mientras tanto en contenedores cerrados.

### 9.6. Mosquito verde (*Empoasca spp.*)

Se trata de un cicadélido –muy habitual en viñas, cítricos y otros frutales– que lleva varios años causando problemas en el Campo de Cartagena y en la última campaña ha aparecido en varios invernaderos del Campo de Dalías, provocando daños por alimentación en hojas y frutos. En hoja los daños aparecen como erosiones que recuerdan a las causadas por la araña roja, mientras en fruto aparecen alineaciones de pequeñas punteaduras cloróticas que lo deprecian totalmente.

**Figura 18. *Empoasca* sp.: a) adulto; b) ninfa; c) daños en fruto de pimiento y d) daños en hoja de pimiento**



Los adultos son pequeños cicadélidos de color verde, muy activos y nerviosos, que se camuflan muy bien en el cultivo y vuelan en cuanto son molestados. Las ninfas se parecen mucho a los adultos –salvo, evidentemente, por la ausencia de alas– y se camuflan tan bien como los adultos en el envés de las hojas de pimiento. En cuanto a su control, si se detectan pronto son muy fáciles de controlar con aplicaciones de aceite de verano; pero con poblaciones altas se ha de recurrir a la mezcla *indoxacarb* + *azadiractina* para controlarlos. El trampeo masivo con trampas cromotrópicas de color amarillo ha dado resultados excelentes en infestaciones muy altas imposibles de controlar con aplicaciones químicas, a costa de aceptar un porcentaje de capturas de *Orius laviegatus*.

## 10. Oidiopsis de las solanáceas (*Leveillulla taurica*)

*Leveillulla taurica* es sin duda una de las enfermedades más destructivas en los cultivos de pimiento y hasta ahora ha sido la más importante y frecuente en los cultivos de pimientos con control integrado. La enfermedad aparece durante el otoño y la primavera, coincidiendo con los momentos de mayor actividad de planta, en forma de manchas amarillentas en el haz de la hoja que exhiben un característico fieltro blanco en el envés.

**Figura 19. *Leveillulla taurica*:** a) fuerte ataque en cultivo de pimiento y de b) a f) proceso infectivo: b) la espora asexual (conidio) llaga a la hoja; c) el conidio germina cuando las condiciones son óptimas, forma un apresorio mediante el cual atraviesa la cutícula vegetal; d) una vez dentro de la hoja emite haustorios para alimentarse de las células de la planta sin matarlas; e) el micelio invade los espacios intercelulares por completo, formando haustorios en todas las células; la alimentación del hongo acaba matando a las células vegetales, que toman un color amarillo y f) el micelio sale al exterior por los estomas y forma conidióforos, donde se formarán nuevos conidios



Para enfocar el manejo integrado de este hongo es necesario conocer su ciclo vital. Este comienza cuando una espora asexual –denominada conidio– alcanza el haz de la hoja. Si las condiciones de luz, temperatura y humedad son las adecuadas, este conidio germina desarrollando un micelio inicial, que rápidamente formará un apresorio y una hifa de penetración, que atravesará la cutícula vegetal iniciando la infección. Este micelio inicial crece ocupando el espacio intercelular –el apoplasto– y emitiendo haustorios, unas estructuras que atraviesan la pared de las células vegetales sin matarlas. A través de estos haustorios el hongo se alimenta de la planta de pimiento, continuando su crecimiento y emitiendo nuevos haustorios, hasta que el micelio ocupa todo el apoplasto y todas las células parenquimáticas han sido parasitadas. La alimentación del hongo acaba colapsando el parénquima de la hoja, que amarillea mostrando los síntomas visibles a simple vista. En ese momento el hongo sale por los estomas del envés, emitiendo micelio externo y formando conidióforos que desarrollarán nuevos conidios –el fieltro blanquecino observable a simple vista–. Entre la germinación de la espora y la formación de los conidióforos transcurren unos 20 días, por lo que para actuar de forma preventiva tendríamos que tomar medidas tres semanas antes de la aparición de los primeros síntomas.

Cualquier estrategia preventiva contra *Leveillula taurica* ha de basarse en el azufre, que es el único fungicida con acción preventiva contra este hongo. La acción fungicida del azufre se basa en su sublimación, proceso por el cual el azufre sólido pasa directamente a estado gaseoso y que ocurre de forma espontánea cuando las temperaturas son superiores a 18 °C. Las moléculas de azufre gaseoso –S<sub>8</sub>– forman un anillo de 8 átomos que es soluble en ergosterol –el principal componente de la membrana celular de los hongos verdaderos–, por lo que puede penetrar en el interior de los conidios y micelios iniciales de *Leveillula taurica* y alterar sus procesos metabólicos, causando la muerte del hongo antes de que se produzca la infección. Dado su mecanismo de acción, no es necesario aplicar el azufre sobre la planta para que resulte efectivo; se obtienen muy buenos resultados aplicándolo al suelo del invernadero, ya sea en golpes o con una espolvoreadora adaptada, siempre que la temperatura sea superior a los 18 °C. Con temperaturas más bajas será necesaria la utilización de vaporizadores de azufre, aparatos provistos de una resistencia eléctrica que calientan el azufre a temperaturas más altas provocando su fusión y posterior evaporación; pero estos aparatos requieren una instalación eléctrica repartida por todo el invernadero y su manejo es más complicado.

Si finalmente se produce la infección deberemos recurrir a los fungicidas sistémicos, pues el azufre no resulta eficaz contra los micelios internos de este hongo. Aunque a primera vista puede parecer que hay en el mercado gran número de fungicidas contra oídio, un análisis más profundo de su modo de acción nos desvelará la realidad. Todos los fungicidas antioídio pertenecen a tres grupos: Los fungicidas QoI<sup>7</sup> –las estrobilurinas– integrados por el *azoxystrobin* y el *kresoxim metil*; las hidroxipirimidinas, cuyo único representante es el *bupirinato* y el amplio grupo de los fungicidas DMI<sup>8</sup> –los triazoles y afines– donde se agrupan el resto de los productos antioídio: *flutriazol*, *triadimenol*, *penconazol*, *miclobutanil* y *ciproconazol*. Para un buen control del oídio y una adecuada gestión de las resistencias será necesario alternar tratamientos con productos con distinto modo de acción.

## 11. Prodedumbre gris (*Botrytis cinerea*)

Si la oídio es la enfermedad más frecuente en los pimientos durante el otoño y la primavera, la podredumbre gris causada por *Botrytis cinerea* es sin duda el problema fitosanitario más grave en los meses de invierno. Este hongo es absolutamente ubicuo, pudiéndose encontrar en cualquier parte, en la mayoría de las ocasiones actuando como saprófito. Sin embargo, si las condiciones son las adecuadas –humedad cercana a la saturación y amplias diferencias entre el día y la noche– las esporas germinan y el micelio invade los tejidos vegetales. Una vez que el micelio ha atravesado la cutícula vegetal, segrega enzimas que destruyen las estructuras de sostén de las células, que finalmente colapsan y dejan escapar su contenido. Sobre este prosperará el micelio del hongo, que rápidamente emitirá conidióforos que formarán nuevos conidios, que dan a la lesión el aspecto de fieltro grisáceo que todos conocemos. En determinadas condiciones el hongo puede formar estructuras de resistencia muy duraderas denominadas esclerocios, pero también puede sobrevivir directamente en forma de micelio sobre restos vegetales o en el suelo.

Pese a su aparente simplicidad, *Botrytis cinerea* es un hongo muy complejo cuya biología –a pesar de los numerosos estudios científicos– no es aún del todo conocida. Sin embargo sabemos que determinadas condiciones agronómicas favorecen los ataques de este hongo, por lo que han de ser evitadas en lo posible. Se sabe que un exceso de nitrógeno en los tejidos vegetales

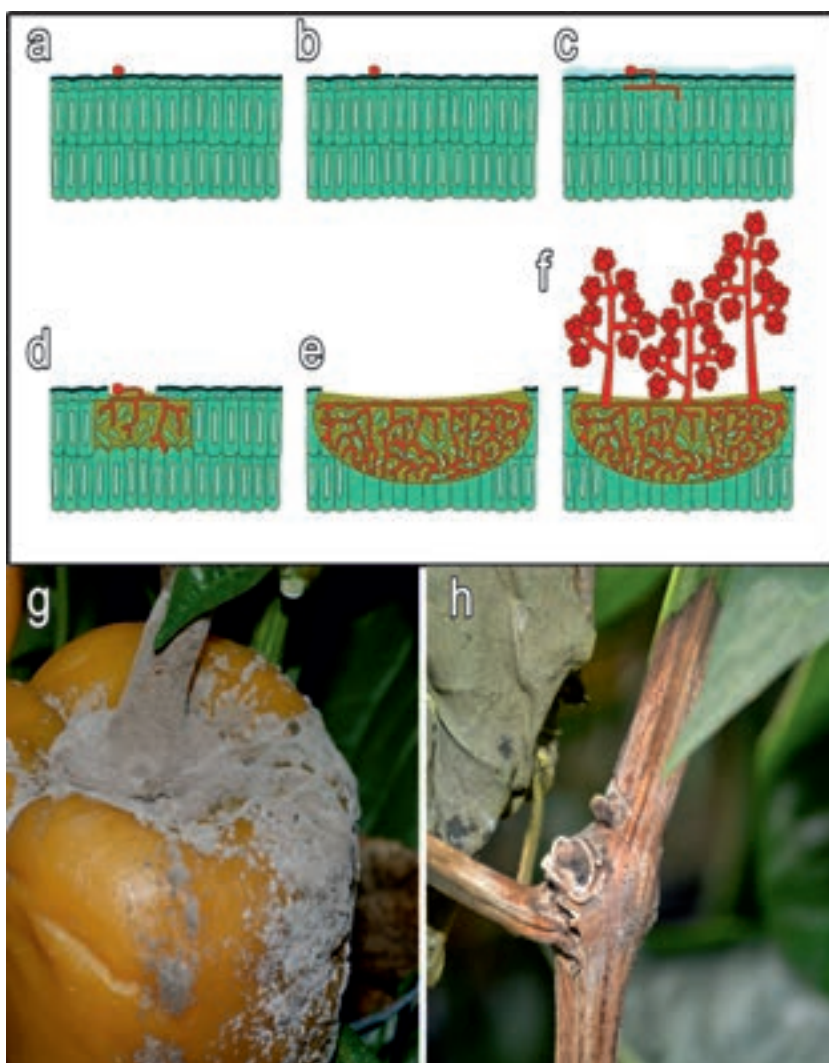
<sup>7</sup> Del inglés *Quinone outside Inhibitors* (Inibidores externos de la quinona).

<sup>8</sup> Del inglés *DeMethylation Inhibitors* (Inibidores de la demetilación).

favorece la germinación de los conidios y el crecimiento de los micelios, por lo que deben evitarse los abonados nitrogenados excesivos y el uso de productos a base de aminoácidos en las épocas de mayor riesgo. Las condiciones de humedad del suelo son importantes, pues una excesiva hidratación de la planta facilita la penetración de las hifas; es necesario ajustar la dotación, frecuencia y horario de riego para evitarlo, lo que contribuirá también a la reducción de la humedad relativa del invernadero. El nivel de humedad en el cultivo es el punto crítico, no en vano los conidios de *Botrytis cinerea* necesitan de una humedad relativa cercana a la saturación –superior al 90 %– y solo es posible la formación de nuevas esporas con humedades superiores al 75 %. Es fundamental tratar de evitar condiciones de alta humedad en los cultivos, y en este sentido el manejo adecuado de la ventilación es la principal herramienta; pero la colocación de dobles techos muy abiertos –que al tiempo que permiten la ventilación evitan la caída de agua sobre las plantas– es una gran ayuda.

Pero estas medidas no garantizan que evitemos la infección. Así que si esta comienza y el aire del invernadero se carga de conidios de *Botrytis cinerea* será necesario extremar las precauciones para minimizar en lo posible las pérdidas, estableciendo una serie de medidas tendentes a retrasar el avance de la enfermedad. Eliminar las flores secas y otros restos vegetales de pequeño tamaño, elimina posibles focos de infección y contribuye a secar las plantas. Se ha de evitar trabajar en el cultivo los días de lluvia, pues cualquier faena produce pequeñas heridas que sirven de vía de penetración al hongo. La eliminación de los órganos vegetales dañados se ha de hacer con sumo cuidado, evitando arrojar restos al suelo y tratando de dispersar lo menos posible las esporas. Cuando se recolecte se ha de cortar el pedúnculo del fruto por su base, justo en la zona de inserción al tallo –que es donde se produce una mejor y más rápida cicatrización– realizando un corte lo más limpio posible. En este sentido no es aconsejable el uso de tijeras, debiéndose utilizar cuchillos bien afilados para la recolección cuidándose de no dañar el tallo principal. Una práctica muy recomendable es la utilización de soluciones desinfectantes caseras (agua oxigenada o hipoclorito sódico) para desinfectar las herramientas de corte mientras se trabaja, con lo que se contribuye a la cicatrización y la desinfección de la herida de recolección.

**Figura 20. *Botrytis cinerea*:** de a) a f) proceso infeccioso: a) la espora se fija a la superficie vegetal sin necesidad de que las condiciones de humedad sean altas; b) aunque hay cepas capaces de atravesar directamente la cutícula de algunas especies, habitualmente es necesaria la presencia de heridas para la infección; c) los conidios solo germinan cuando la humedad relativa alcanza la saturación, lo que implica la condensación de agua sobre el vegetal; el micelio inicial penetra por la herida y comienza la infección; d) el micelio emite diversas enzimas que destruyen las estructuras celulares del vegetal; las células colapsan y vierten su contenido, del que se alimenta el hongo; e) el micelio se desarrolla y la infección avanza y f) se forman los conidióforos que forman nuevos conidios –el fieltro gris que observamos en los cultivos-, g) daño en fruto y h) daño en tallo



**Figura 21. Medidas para limitar la expansión de *Botrytis cinerea* en el cultivo: a) doble techo abierto, que permite la ventilación y evita el goteo; b) evitar las limpiezas masivas de restos vegetales que puedan dispersar los conidios del hongo; c) realizar el corte por la base del pedúnculo para facilitar la cicatrización –obsérvese la posición más centrada de los haces vasculares en la foto remarcada en verde–; d) realizar cortes de recolección limpios. 1e) a e4) evitar girar la hoja del cuchillo; si se gira se producen lesiones en el tallo en una zona de difícil cicatrización**



Respecto al control químico, se ha de trabajar de forma preventiva con fungicidas multisitio. Desgraciadamente la legislación española prohíbe el uso de sales de cobre en pimiento, y no pueden usarse los ditiocarbamatos debido a su toxicidad sobre *Amblyseius swirskii*; la única materia activa de este tipo es el *clortalonil*, básico en la gestión preventiva del hongo. En cuanto a fungicidas específicos, actualmente se dispone de un amplio abanico de materias activas contra *Botrytis cinerea* con distintos puntos de acción. Tenemos hidroxianilinas como la *fenhexamida*, dicarboximidas como la *iprodiona*, anilino pirimidinas como el *pirimetanil* y el *ciprodinil*, un fungicida DMI como el *tebuconazol*, y fenilpirrolos como el *fludioxonil*. Sin embargo, no hay que olvidar que *Botrytis cinerea* es un hongo con una sorprendente facilidad para

generar resistencias a los fungicidas; para una correcta gestión de las mismas se deben de alternar productos con distintos modos de acción, utilizándolos exclusivamente cuando se detecten los síntomas iniciales de la enfermedad.

# Gestión integrada de plagas y enfermedades en tomate

*David E. Meca Abad*

Estación Experimental de Cajamar 'Las Palmerillas'

## 1. Introducción

La misión principal de la agricultura es la de producir alimentos, Sin embargo esta producción se ve amenazada por organismos competidores de los cultivos y los fenómenos climáticos adversos, especialmente las plagas, enfermedades y la invasión de los cultivos por las malas hierbas. Todos ellos comportan importantes limitaciones en la producción de alimentos y pérdidas económicas cuantiosas.

En la reunión de ministros de agricultura de los Estados del G20 en París en 2011 se recomendaba establecer medidas para incrementar la productividad de la agricultura, aumentar la producción de alimentos y asegurar a medio y largo plazo la sostenibilidad del sistema agroalimentario mundial. En todo este contexto se hace necesario el empleo de productos fitosanitarios compatibles con la salud de las personas y el medioambiente: se trata de producir alimentos de forma sostenible desde un punto de vista social y ambiental.

Con todo ello en la UE se han adoptado medidas, entre ellas la elaboración de la Directiva 2009/128/CE sobre Uso Sostenible de los Plaguicidas, que promueve una serie de actuaciones destacadas:

- Planes para la reducción de la utilización de los productos fitosanitarios, entre los que destaca la generalización de la Gestión Integrada de Plagas (GIP).
- Precauciones para proteger el medio acuático, el agua potable, los espacios públicos y las zonas calificadas de protección ambiental.
- Un sistema de formación obligatoria de los usuarios para evitar el uso inadecuado de los productos fitosanitarios y emplear debidamente los equipos de aplicación.

La Gestión Integrada de Plagas es un sistema de gestión global de la producción en el que la toma de decisiones basadas en criterios técnicos debidamente justificados. En este contexto, el control de plagas y enfermedades se hace combinando y/o compatibilizando control químico, biológico y diferentes prácticas culturales tratando de minimizar los riesgos para las personas y el medioambiente.

## 2. Plagas más usuales del cultivo de tomate

### 2.1. Ácaros

Arañas rojas: *Tetranychus urticae* Koch, *tetranychus turkestanii* Ugarov y Nikoski, *tetranychus evansi* Baker y *tetranychus ludeni* Zacher.

Estas especies suelen ser especies nativas y están muy bien adaptadas a nuestras condiciones ambientales y se alimentan y reproducen sobre una gran cantidad de especies vegetales diferentes, de modo que sus poblaciones en las áreas agrícolas son muy dinámicas e inestables.

Se reproducen activamente durante todo el año, dispersándose de unas plantas a otras rápidamente formando colonias de gran número de individuos.

El aspecto externo de las cuatro especies es muy parecido. La coloración de los individuos depende de la edad, siendo los más jóvenes de color más claro o casi incoloro y los adultos de color rojizo de diferentes tonalidades.

Los daños que provocan son similares, decoloraciones difusas que son en realidad pequeñas manchas blanquecinas correspondientes a las células epidérmicas succionadas en las hojas y producción de seda que cubre las colonias. Ataca principalmente al envés de la hoja. La invasión comienza localizada en focos; si el número de ácaros sobre la planta es excesivo migran a la zona apical de las hojas donde producen abundante seda que le sirve para dispersarse.

### Control preventivo

- Desinfección de estructuras y suelo previa a la plantación en parcelas con historial de araña roja.
- Eliminación de malas hierbas y restos de cultivo.
- Evitar los excesos de nitrógeno.

- Vigilancia de los cultivos durante las primeras fases del desarrollo, fundamentalmente las zonas más cercanas a las puertas, bandas o bordes de los invernaderos por ser el principal punto de entrada al invernadero.
- Detección precoz de los focos ya que de esta manera es más fácil de controlar.

### Control biológico

Las principales especies depredadoras de huevos, larvas y adultos de araña roja: *Amblyseius californicus*, *Phytoseiulus persimilis* (especies autóctonas y empleadas en sueltas), *Feltiella acarisuga* (especie autóctona).

### Control químico

Abamectina, aceite de parafina, azadiractin, azufre, clofentezín, etoxazol, fenbutaestan, fenpiroximato, flufenoxuron, oxamilo, piridaben, spiromesifen y tebufenpirad.

#### 2.2. Eriófidos del tomate: *Aculops lycopersici* (Massee).

Conocido como «vasates». Plaga común del tomate en todo el mundo. Es muy polífaga, es de vida libre (no vive protegido en agallas o erineas) y es tolerante a bajas humedades relativas por lo que los mayores daños y el mejor desarrollo se producen con altas temperaturas y bajas humedades (primavera y verano).

Los daños comienzan en la parte baja de la planta, las hojas inferiores se curvan y adquieren un tono plateado. En el tallo produce bronceado característico y su superficie se agrieta longitudinalmente. Si el daño continúa las hojas se secan y defolian y afecta a la producción de frutos, formándose en ellos costras bronceadas oscuras y grietas a partir del cáliz.

### Control preventivo:

- Desinfección de ropa, calzado, herramientas de trabajo.
- Eliminar las plantas muy afectadas.

- Cuidado con las labores de cultivo como podas, deshojados, etc. ya que se transmite muy fácilmente.

### Control biológico

Se están realizando experiencias con ácaros depredadores *Amblyseius andersoni*.

### Control químico

Abamectina, aceite de parafina, azadiractin, azufre, oxamilo y spiromesifén.

### 2.3. Mosca blanca (*Bemisia tabaci*)

Con el nombre de moscas blancas se conoce a un grupo de insectos que presenta unas 1556 especies descritas. En el ámbito de las plantas hortícolas cultivadas bajo plástico en España podemos citar dos especies de moscas blancas que constituyen un serio problema en invernadero; *Bemisia tabaci* (Gennadius), conocida también como mosca blanca del algodón y *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) o mosca blanca de los invernaderos.

Actualmente ambas especies son consideradas dañinas sobre el cultivo de tomate en la cuenca mediterránea, si bien parece que *Trialeurodes* predomina más en zonas más templadas y *Bemisia* en zonas más cálidas.

Plaga agresiva y polífaga que ocasiona graves pérdidas en los cultivos. Debe su nombre a la fina capa cerosa que recubre el cuerpo de los individuos adultos. Las partes jóvenes de las plantas son colonizadas por los adultos, realizando las puestas en el envés de las hojas. De estas emergen las primeras larvas, que son móviles. Tras fijarse en la planta pasan por tres estados larvarios y uno de pupa, este último característico de cada especie.

En general, los daños debidos a moscas blancas son de dos tipos: daños directos (amarilleamientos y debilitamiento de las plantas) ocasionados por larvas y adultos al alimentarse, succionando la savia que conlleva un debilitamiento y reducción en la productividad de la planta. Los daños indirectos se deben a la proliferación de negrilla o fumagina (*Capnodium elaeophilum*) sobre la melaza producida en la alimentación, manchando y depreciando los frutos y dificultando el normal desarrollo de las plantas. Ambos tipos de daños se convierten en importantes cuando los niveles de población son altos.

Otro daño indirecto es el que tiene lugar por la transmisión de virus por los individuos adultos.

**Tabla 1. Principales virosis transmitidos por mosca blanca**

| Virus                                                                                  | Siglas | Vector  |
|----------------------------------------------------------------------------------------|--------|---------|
| Virus del amarilleo del tomate ( <i>Tomato chlorosis virus</i> )                       | ToCV   | Bt y Tv |
| Virus del amarilleo infeccioso del tomate ( <i>Tomato infectious chlorosis virus</i> ) | TiCV   | Tv      |
| Virus del rizado amarillo del tomate ( <i>Tomato yellow leafcurl virus</i> )           | TYLCV  | Bt      |
| Virus del torrado del tomate ( <i>Tomato torrado virus</i> )                           | ToTV   | Bt y Tv |

### Control preventivo y técnicas culturales

- Colocación de mallas en las bandas de los invernaderos.
- Limpieza de malas hierbas y restos de cultivos.
- No asociar cultivos en el mismo invernadero.
- No abandonar los brotes al final del ciclo, ya que los brotes jóvenes atraen a los adultos de mosca blanca.
- Colocación de trampas cromáticas amarillas.
- Uso de variedades resistentes.
- Suelta de fauna auxiliar en semillero (*Nesidiocoris tenuis*).

### Control biológico:

- *Bemisia tabaci*: *Eretmocerus mundus*, *Macrolophus pygmaeus* y *Nesidiocoris tenuis*.
- *Trialeurodes vaporariorum*: *Encarsia Formosa*, *Eretmocerus eremicus*, *Macrolophus pygmaeus*, *Nesidiocoris tenuis*.

También se puede considerar biológico los tratamientos con entomopatógenos, que son organismos que producen enfermedades en los insectos, siendo el agente causal muy diverso: virus, bacterias, hongos, protozoos y nematodos. Los entomopatógenos tienen el inconveniente de que no buscan activamente a sus huéspedes, como hacen depredadores o parasitoides, por lo que su empleo está orientado a una producción masiva y aplicación como bioplaguicidas. Entre los entomopatógenos que se ha comprobado su

efecto contra mosca blanca destacan los hongos *Aschersonia aleyrodis* Webber, *Beauveria bassiana* (Balsamo) y *Verticillium lecanii* (Zimm.). También se están evaluando los nematodos entomopatógenos *Sterinema feltiae* (Filipjev).

### Control químico

Aceite de parafina, azadiractina, beauveria bassiana, oxamilo, pimetrocina, piretrinas, piridaben, piriproxifen, spiromesifen, teflubenzuron, tiame-toxam y verticillium lecanii.

#### 2.4. *Trips* (*Frankliniella occidentalis* (Pergande) (*Thysanoptera: Thripidae*)

Los individuos adultos colonizan los cultivos realizando las puestas dentro de los tejidos vegetales en hojas, frutos y, preferentemente, en flores (son florícolas), donde se localizan los mayores niveles de población de adultos y larvas nacidas de las puestas. Los daños directos se producen por la alimentación de larvas y adultos, sobre todo en el envés de las hojas, dejando un aspecto plateado en los órganos afectados que luego se necrosan. Estos síntomas pueden apreciarse cuando afectan a frutos (sobre todo en pimiento) y cuando son muy extensos en hojas. Las puestas pueden observarse cuando aparecen en frutos (berenjena, judía y tomate). Sin embargo el mayor daño es indirecto debido a la transmisión del virus del bronceado del tomate (TSWV), que afecta también a pimiento, berenjena y judía.

### Control preventivo y técnicas culturales

- Empleo de material vegetal libre de plaga.
- Colocación de mallas antiinsecto en las bandas del invernadero, doble puerta hermética que sirva de esclusa.
- Limpieza de malas hierbas y restos de cultivo.
- Manejo de la flora espontánea, fomentando estrategias de conservación y auxiliares.
- Eliminación de las plantas afectadas por TSWV, reduciendo considerablemente la incidencia de virosis al reducirse así la población de trips virosantes.

- Colocación de trampas cromáticas azules. Se realiza una semana antes del trasplante, mínimo 50 trampas azules y 50 amarillas por hectárea, reforzando las zonas más propensas a la entrada de plaga como bandas, accesos y ventanas cenitales. Cuando se produce un cambio de cultivo con poco tiempo, son muy eficaces ya que los trips cumplen parte de su ciclo en el suelo y estas placas son muy atractivas para el trips en ausencia de cultivo o con planta pequeña.
- Empleo de trampas cromotrópicas con emisor de feromonas de agregación.
- Dejar por lo menos dos semanas entre la eliminación del cultivo viejo y el trasplante nuevo.
- Uso de variedades tolerantes.
- Suelta de fauna auxiliar en semillero (*Nesidiocoris tenuis*).

### Control biológico

*Nesidiocoris tenuis*, *Macrolophus caliginosus*. En estaciones más frescas y en cultivo en suelo se ha empleado a nivel experimental *Hypoaspis miles*.

### Control químico

Aceite de parafina, azadiractina, lufenuron, oxamilo, piretrinas y spinosad.

### 2.5. *Nematodos formadores de nódulos en las raíces (Meloidogyne spp.)*

Las especies del género *Meloidogyne* son endoparásitos sedentarios de naturaleza polífaga, constituyendo el primer problema nematológico de la horticultura en España. Su mayor incidencia ha coincidido con la intensificación de la agricultura, el desarrollo de los cultivos en invernadero y el monocultivo o especialización en un número reducido de cultivos. Tales factores favorecen el desarrollo de la enfermedad debido a la presencia de plantas huéspedes durante la mayor parte del año, incremento de la temperatura bajo cubierta y los cortos periodos de barbecho, lo cual disminuye la tasa de mortalidad natural del nematodo. El perjuicio causado por el nematodo se mide por las pérdidas de producción que pueden representar hasta un 60 %.

En horticolas en Almería se han identificado las especies *M. javanica*, *M. arenaria* y *M. incógnita*. Afectan prácticamente a todos los cultivos horticolas, produciendo los típicos nódulos en las raíces que le dan el nombre común de «batatilla». Penetran en las raíces desde el suelo. Las hembras al ser fecundadas se llenan de huevos tomando un aspecto globoso dentro de las raíces. Esto unido a la hipertrofia que producen en los tejidos de las mismas, da lugar a la formación de los típicos «rosarios». Estos daños producen la obstrucción de vasos e impiden la absorción por las raíces, traduciéndose en un menor desarrollo de la planta y la aparición de síntomas de marchitez en verde en las horas de más calor, clorosis ascendente y enanismo, responden pobremente al abonado y senescen prematuramente. Los síntomas se acentúan durante la fructificación ya que el sistema radical dañado no puede aportar el agua y nutrientes necesarios por los frutos. Se distribuyen por rodales o líneas y se transmiten con facilidad por el agua de riego, con el calzado, con los aperos y con cualquier medio de transporte de tierra. Además, los nematodos interaccionan con otros organismos patógenos, bien de manera activa (como vectores de virus), bien de manera pasiva facilitando la entrada de bacterias y hongos por las heridas que han provocado.

El objetivo pues del control de los nematodos fitoparásitos es evitar que se produzcan pérdidas significativas de producción. Para ello se dispone de diversos métodos para disminuir la densidad de población por debajo del umbral económico de daño económico y/o reducir la tasa de multiplicación de la población (métodos genéticos, agronómicos, físicos, biológicos y químicos). El control químico mediante fumigantes del suelo y nematicidas han sido el más utilizado por su rápida acción y elevada eficacia. Sin embargo, las restricciones legislativas referentes al uso de agroquímicos y la preocupación medioambiental han derivado en la priorización del resto de métodos. No obstante, no hay ningún método de control que reduzca las densidades de población de los nematodos en torno al 90 % de forma consistente y permanente en el tiempo. Por ello el control debe de realizarse mediante la implementación de estrategias de manejo que combinen diferentes métodos para minimizar infestaciones, la dispersión del inóculo y el consiguiente daño al cultivo. La eficacia de los diferentes métodos que conformen esta estrategia debería ser sinérgica y/o aditiva y durable, de bajo impacto ambiental, mínimo riesgo toxicológico y económicamente viables.

### Medidas para bajar el nivel poblacional antes de plantar

- Preparación del suelo. Mantener el suelo con materia orgánica y libre de malezas.
- Dejar un barbecho limpio. Al descansar más tiempo el suelo mueren los nematodos por falta de alimento.
- Destrucción de raíces del cultivo anterior. Eliminar la fuente de alimento para la supervivencia del nematodo presente en el suelo.
- Solarización o biofumigación. Se realiza en lugares con veranos calurosos durante 6 -8 semanas. La biofumigación libera sustancias tóxicas y aumenta el porcentaje de materia orgánica.
- Uso de nematicidas. Los que se comercializan tienen muchos días de carencia y están recomendados para su aplicación al trasplante. Hacen falta nuevos principios químicos menos contaminantes.
- Utilización de plantas con resistencia genética. Con temperaturas menores a 27 °C en el suelo se comportan como resistentes.
- Fecha de trasplante adecuada. Evitar el verano porque acelera la multiplicación de nematodos.
- Rotación de cultivos. Abonos verdes. Cultivos con efectos nematicidas por ejemplo sorgo cuyas raíces contienen «dhurrín» y al morir las plantas liberan cianuro de hidrógeno. También con las Brassicas que al descomponerse dan isothiacianatos. Estas sustancias tienen efecto sobre los nematodos.

### Medidas para bajar el nivel poblacional después de plantar:

Estas medidas son de tipo paliativo. Sirven para reducir la tasa de multiplicación del nematodo en el cultivo.

- Uso de Nematicidas. El control químico sigue siendo el más utilizado por la rapidez de aplicación. No todos los estados de los nematodos perjudiciales son sensibles a los productos, se mueren solo los estadios móviles o vermiformes. Los huevos están protegidos por una masa gelatinosa y los adultos están dentro de la raíz por lo cual son difíciles de controlar con productos químicos.
- Si la planta está infectada la mejor medida es eliminar el cultivo lo antes posible (ciclo corto).

- Utilización de agentes de Control Biológico. Regulación de las poblaciones mediante la acción directa de organismos antagonistas o de sus metabolitos, la inducción de mecanismos de resistencia en la planta. Los organismos incluyen hongos, bacterias, protozoos, insectos o ácaros.
- Aplicación de enmiendas orgánicas. El enriquecimiento orgánico del suelo, además del aporte de nutrientes, favorece la presencia de hongos y bacterias que alimentan a nematodos fungívoros y bacteriófagos importantes para la salud del suelo.

### Control químico

Actualmente las materias autorizadas son: Etoprofos, Fenamifos, Fostiazato y Oxamilo.

### 2.6. *Minadores de hoja*

Los minadores o submarinos actualmente presentes en los cultivos hortícolas de invernadero son *Liriomyza bryonae* (en todos los cultivos) y *Liriomyza trifolii* (tomate y judía).

Los daños producidos son de dos tipos: Las hembras adultas se alimentan y realizan las puestas dentro del tejido de las hojas jóvenes, donde comienza a desarrollarse una larva que se alimenta del parénquima, ocasionando las típicas galerías. La forma de las galerías es diferente, aunque no siempre distinguible, entre especies, planta huésped y número de larvas por hoja. Una vez finalizado el desarrollo larvario, las larvas salen de las hojas para pupar, en el suelo o en las hojas, para dar lugar posteriormente a los adultos. La importancia de los daños depende del tamaño de la población, de la especie en sí, del estado de desarrollo de la planta y de la parte de la misma atacada (planta pequeña o grande). En general el daño provoca una disminución de la capacidad fotosintética de la planta, desecación, necrosis e incluso la caída prematura de las hojas. Además puede provocar daños secundarios por infecciones fúngicas e incluso ser vectores de virus.

## Control preventivo y técnicas culturales

- Colocación de mallas en las bandas del invernadero, ventanas cenitales y puertas. Colocación de dobles puertas.
- Empleo de material vegetal sano procedente de semilleros autorizados.
- Eliminación de malas hierbas y restos de cultivo del invernadero y alrededores que puedan actuar de reservorio.
- También sería aconsejable realizar barridos de suelo entre los cultivos para eliminar pupas.
- En fuertes ataques, eliminar y destruir las hojas bajas de la planta.
- Colocación de trampas cromáticas amarillas desde los inicios del cultivo para la detección temprana de los primeros ataques.

## Control biológico

Especies parasitoides autóctonas: *Diglyphus isaea* (Walker) el más utilizado en sueltas, *Diglyphus minoeus*, (Walker), *Diglyphus crassinervis* Erdös, *Chrysonotomyia formosa* (Westwood), *Hemiptarsenus zihalisebessi* (Erdös), *Cirrospilus vittatus* (Walker), *Dacnusa sibirica* (Haliday).

También el empleo de entomopatógenos (nematodos *Heterorhabditis bacteriophora* u hongos) a nivel experimental está mostrando resultados esperanzadores.

## Control químico

Abamectina, aceite de parafina, azadiractina, ciromazina, oxamilo y piretrinas (extracto de pelitre).

### 2.7. Pulgones

En los cultivos de tomate en invernadero se han identificado varias especies de áfidos polífagos, si bien *Myzus persicae* (Sulzer) y *Aphis gossypii* (Glover) son las más abundantes. Presentan polimorfismo, con hembras aladas y ápteras de reproducción vivípara. Las formas ápteras del primero presentan sifones negros en el cuerpo verde o amarillento, mientras que las de *Myzus* son completamente verdes (en ocasiones pardas o rosadas). Forman colonias

y se distribuyen en focos que se dispersan, principalmente en primavera y otoño, mediante las hembras aladas.

Los daños directos son producidos por los insectos al alimentarse clavando sus estiletes bucales en los tejidos vegetales hasta alcanzar los vasos de savia, provocando un debilitamiento general de la planta cuando hay colonias numerosas sobre la misma. Los daños son especialmente graves en plántulas o plantas jóvenes. Los daños indirectos producidos por la segregación de melaza sobre la que proliferan hongos (negrilla) y por la transmisión de virosis PVY (virus Y de la patata) y CMV (virus del mosaico del pepino).

### Control preventivo y técnicas culturales

- Colocación de mallas en las bandas del invernadero que impidan o dificulten la entrada de hembras aladas.
- Eliminación de malas hierbas dentro y fuera de la parcela (plantas adventicias de los márgenes de la parcela) y restos del cultivo anterior.
- Colocación de trampas cromáticas amarillas.

### Control biológico mediante enemigos naturales

- Especies depredadoras autóctonas: *Aphidoletes aphidimyza*, *Coccinella septempunctata* (Linneo), *Adalia bipunctata* (Linneo), *Chrysopa Formosa* (Brauer) y *Chrysoperla carnea* (Stephens), *Syrphidae* spp.
- Especies parasitoides autóctonas: *Aphidius matricariae*, *Aphidius colemani*, *Lysiphlebus testaicepes*, *Aphidius ervi*.
- Especies parasitoides empleadas en sueltas: *Aphidius colemani*.

### Control químico

Aceite de parafina, azadiractina, etofenprox, flonicamid, oxamilo, pime-trocina, piretrinas (extracto de pelitre), pirimicarb, tiacloprid y tiametoxam.

## 2.8. *Lepidópteros* (Orugas)

La mayoría de lepidópteros que son considerados plagas de los cultivos hortícolas pertenecen a la familia Noctuidae. Atendiendo al comportamiento alimenticio de las orugas de estos lepidópteros podemos clasificarlos en orugas

defoliadoras (pueden atacar ocasionalmente a frutos pero normalmente no se alojan en ellos), muy voraces consumiendo gran cantidad de follaje: *Spodoptera exigua*, *S. littoralis*, *Autographa gamma*, *Chrysodeixis chalcites*, orugas de fruto, alojándose en el interior de los mismos y alimentándose también de tallos y hojas: *Heliothis armígera* (Hübner), *Heliothis peltigera* (Dennis & Schiff.).

El daño principal de esta plaga es la defoliación que puede producir sobre todo en plantaciones jóvenes (orugas defoliadoras) y debilitamiento de la planta por ataques a brotes y hojas y repercusión económica directa por pérdida de frutos (orugas de fruto).

### Control preventivo y técnicas culturales

- Colocación de mallas en las bandas del invernadero.
- Eliminación de malas hierbas y restos de cultivo.
- En el caso de fuertes ataques, eliminar y destruir las hojas bajas de la planta.
- Colocación de trampas de feromonas y trampas de luz.
- Vigilar los primeros estados de desarrollo de los cultivos, en los que se pueden producir daños irreversibles.

### Control biológico mediante enemigos naturales

- Parasitoides: *Trichogramma achaeae* (Nagaraja & Nagartakki), *Cotesia marginiventris* (Cresson) .
- Patógenos autóctonos: Virus de la poliedrosis nuclear de *S. exigua*.
- Productos biológicos: *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* y *aizawai* , *beauveria bassiana*.

### Control químico

Abamectina, azadiractin, clorantraniliprol, emamectina, etofenprox, flubendiamida, indoxacarb, lufenuron, metaflumizona, metoxifenocida, piretrinas (extracto de pelitre), spinosad, tebufenocida, y teflubenzuron.

### Tuta absoluta

Mención especial merece *Tuta absoluta* (Meyrick).

La polilla del tomate (*Tuta absoluta* Meyrick) es una plaga de reciente aparición que afecta principalmente al cultivo de tomate y también a otras Solanáceas como berenjena y patata. En época de fuerte presión de plaga puede producir pérdidas de hasta el 100 % de la cosecha y su presencia puede limitar la exportación a otros países.

Es una plaga originaria de Sudamérica, endémica en la mayoría de sus zonas productoras de tomate, donde representa uno de los problemas más importantes del cultivo (EPPO, 2005). En 2006 se encontraron los primeros ejemplares de *Tuta absoluta* en España. En 2007, se identificó la presencia de la plaga en otros países europeos (Francia e Italia) y mediterráneos (Marruecos, Argelia y Túnez).

*Tuta absoluta* es un pequeño lepidóptero, cuyos adultos apenas miden 7 mm de longitud por 1 mm de anchura en reposo, detectándose cierta variabilidad en el tamaño de los individuos. Las hembras, una vez apareadas, realizan las puestas, de las que emergerán las larvas. Tras pasar por 4 estadios larvarios, a veces 5, crisalidan para dar lugar a las nuevas mariposas o polillas. En condiciones óptimas un huevo puede alcanzar el estado de adulto, y estos realizar nuevas puestas en poco más de 20 días.

Los daños son causados por las larvas que, nada más nacer penetran en los frutos de tomate, en las hojas o en los tallos de los que se alimentan, creando perforaciones y galerías. Los frutos pueden ser atacados desde su formación, pudiendo dar lugar a que se pudran posteriormente por la acción de patógenos secundarios, lo que permite una rápida observación de los síntomas. No obstante en estos frutos en los que normalmente la puesta se realiza en verde y sobre el cáliz las larvas jóvenes se encuentran debajo del cáliz siendo inicialmente difíciles de percibir.

Sobre las hojas, las larvas se alimentan únicamente del tejido del mesófilo, dejando la epidermis intacta. Las minas son irregulares y posteriormente se necrosan. Las galerías sobre el tallo afectan al desarrollo de las plantas atacadas.

Una vez completadas las fases larvarias la mayor parte de las orugas se dejan caer al suelo para crisalidar, mientras algunas lo hacen directamente sobre las distintas partes de la planta junto al cáliz de los frutos, protegiéndose con un pequeño capullo.

Con el tiempo los adultos van emergiendo para aparearse y continuar con las puestas, y pueden sobrevivir bien en los restos de cultivo o bien en las parcelas en ausencia de plantas. Estas características de supervivencia provo-

can que las medidas de control de los restos vegetales y de las parcelas sean de vital importancia para evitar las infecciones tempranas de las siguientes plantaciones.

Para un eficaz control de *Tuta absoluta* es imprescindible utilizar todos los métodos que estén al alcance, ya que ningún método de control por sí solo es suficiente. De esta forma habrá que combinar prácticas culturales, utilización de lucha química y control biológico de plagas, en definitiva aplicar una estrategia de control integrado que contemple en cada momento la actuación más adecuada.

### Control preventivo y técnicas culturales

- Utilizar material de plantación exento de plaga.
- En caso de invernaderos, solarización del terreno una vez finalizado el cultivo de tomate, para garantizar la eliminación de crisálidas que permanecen en el suelo.
- Eliminación selectiva de órganos dañados por Tuta, especialmente al inicio del cultivo.
- Realizar un manejo correcto de los restos de cosecha así como de las malas hierbas sensibles, no abandonando los mismos en la parcela o invernadero. En el caso de cultivos protegidos los restos de cosecha deberán almacenarse en contenedores cerrados hasta su envío a una planta de gestión de residuos. En cultivos al aire libre los restos no deberán abandonarse en la parcela.
- Respetar un periodo mínimo de 6 semanas entre cada ciclo de cultivo de especies sensibles.
- No abandonar el control fitosanitario del cultivo hasta el final del ciclo del mismo.
- Utilizar trampeo masivo al inicio del cultivo y con bajos niveles poblacionales. Se recomiendan las trampas de agua con aceite, empleando de 20 a 40 trampas/ha.

### Control biológico

Depredadores: *Nesidiocoris tenuis* Reuter.

Parasitoides: *Trichogramma achaeae* (Nagaraja&Nagarkatti), *Necremnus artynes* Walker.

### 3. Enfermedades del cultivo de tomate

#### 3.1. Hongos

##### 3.1.1. Fusariosis vascular (*Fusarium oxysporum* f. sp *lycopersici*).

- Control preventivo y técnicas culturales
- La rotación de cultivos reduce paulatinamente el patógeno en suelos infectados.
- Eliminar las plantas enfermas y los restos del cultivo.
- Utilizar semillas certificadas y plántulas sanas.
- Utilizar el nitrógeno en forma nítrica (parece ser que inhibe el crecimiento del hongo).
- Utilización de variedades resistentes.
- Desinfección de las estructuras y útiles de trabajo.
- Solarización.

##### 3.1.2. Podredumbre gris (*Botrytis cinerea* Pers.)

###### Control preventivo y técnicas culturales

- Eliminación de malas hierbas, restos de cultivo y plantas infectadas.
- Tener especial cuidado en la poda, realizando cortes limpios a ras del tallo siempre con cuchillo y evitando heridas grandes. A ser posible cuando la humedad relativa no sea muy elevada por la mañana así tiene todo el día para secarse y aplicar posteriormente una pasta fungicida.
- Controlar los niveles de nitrógeno y calcio, evitando las plantaciones muy vigorosas
- Utilizar cubiertas plásticas en el invernadero que filtren la luz ultravioleta.
- Emplear marcos de plantación adecuados que permitan la aireación.
- Manejo adecuado de la ventilación en bandas y en especial de la cenital y el riego.

## Control biológico

*Bacillus subtilis*

## Control químico

Capta, cipronidil + fludioxonil, clortalonil, dietofencarb, fenhexamida, iprodiona, mepanipirim, metiol tiofanato, pirimetanil y tebuconazol.

### 3.1.3. Mildiu (*Phytophthora infestans*)

También conocida como gangrena.

## Control preventivo y técnicas culturales

- Eliminación de plantas y frutos enfermos.
- Manejo adecuado de la ventilación y el riego. Evitar las humedades y la presencia de agua sobre la planta.
- Utilizar plántulas sanas.

## Control químico

Azoxistrobin, benalaxil + cimoxanilo + mancozeb, benalaxil + mancozeb, benalaxil + oxiclورو de cobre, bentiavalicarb isopropil + mancozeb, captan, ciazofamida, cimoxanilo, cimoxanilo + mancozeb, cimoxanilo + mancozeb + oxiclورو de cobre, cimoxanilo + sulfato tribasico de cobre, cimoxanilo + oxiclورو de cobre + sulfato cuprocalcico, cimoxanilo + clortalonil, cimoxanilo + clortalonil + mancozeb, cimoxanilo + fosetil al + mancozeb, cimoxanilo + metiram, cimoxanilo + sulfato cuprocalcico, clortalonil, clortalonil + oxiclورو de cobre, dimetomorf + mancozeb, folpet + oxiclورو de cobre + sulfato cuprocálcico, hidroxido cúprico, hidroxido cuprico + mancozeb, hidroxido cuprico + oxiclورو de cobre, mancozeb, mancozeb + metalaxil, mancozeb + oxiclورو de cobre, mancozeb + oxiclورو de cobre + sulfato cuprocalcico, mancozeb + sulfato cuprocalcico, mandipropamid, maneb, maneb + oxiclورو de cobre, maneb + sulfato cuprocalcico, metalaxil m + oxiclورو de cobre, metiram, oxiclورو de cobre, oxiclورو de cobre + propineb, oxiclورو de cobre + sulfato cuprocalcico, oxido cuproso, propineb.sulfato cuprocálcico y sulfato tribásico de cobre.

### 3.1.4. Oidiopsis (*Leveillula taurica* (Lev.), *Oidium neolycopersici*)

#### Técnicas culturales

- Eliminación de hojas basales dañadas.
- Manejo adecuado de la ventilación.
- Empleo de sublimadores de azufre.

#### Control biológico

*Ampelomyces quisqualis*.

#### Control químico

Azoxistrobin, azufre, azufre + ciproconazol, azufre + miclobutanil, , bupirato, ciproconazol, flutriafol, kresoxim metil, metiltiofanato, miclobutanil, penconazol, tebuconazol, tetraconazol, triadimenol, trifloxistrobin.

### 3.1.5. Cladosporiosis (*Fulvia fulva* (Cke.))

Provoca manchas de color verde claro a amarillo pálido en los folíolos bajos de la planta. Por el envés una pelusa blanquecina al principio y después parda. Al final las manchas se necrosan y los folíolos se enrollan.

#### Control preventivo y técnicas culturales

- Aireación al máximo de las cubiertas para reducir la higrometría del aire ambiente por debajo de 85 %.
- Deshojado de la base de las plantas permite eliminar las primeras hojas afectadas y favorecer la aireación.

#### Control químico

Azoxistrobin, tebuconazol.

### 3.1.6. *Alternaria* (*Alternari dauci* f. sp. *solani* (Sokaner))

#### Control preventivo

- Empleo de plántulas sana.
- Eliminación de la parcela de los frutos y restos vegetales con síntomas de enfermedad.
- Manejo adecuado de la ventilación y el riego.

#### Control químico

Azoxistrobin, benalaxil + cimoxanilo+mancozeb, benalaxil + mancozeb, benalaxil + oxiclورو de cobre, captan, cimoxanilo + mancozeb, cimoxanilo + mancozeb + oxiclورو de cobre, cimoxanilo + sulfato tribasico de cobre, cimoxanilo + oxiclورو de cobre + sulfato cuprocalcico, cimoxanilo + clortalonil + mancozeb, cimoxanilo + metiram, cimoxanilo + sulfato cuprocalcico, clortalonil, clortalonil + oxiclورو de cobre, difenoconazol, folpet + oxiclورو de cobre + sulfato cuprocalcico, hidroxido cúprico, hidroxido cuprico + mancozeb, hidroxido cuprico + oxiclورو de cobre, mancozeb, mancozeb + metalaxil, mancozeb + oxiclورو de cobre, mancozeb + oxiclورو de cobre + sulfato cuprocalcico, mancozeb + sulfato cuprocalcico, mandipropamid, maneb, maneb + oxiclورو de cobre, maneb + sulfato cuprocalcico, metalaxil m + oxiclورو de cobre, metiram, oxiclورو de cobre, oxiclورو de cobre + propineb, oxiclورو de cobre + sulfato cuprocalcico, oxido cuproso, y propineb.

### 3.1.7. Podredumbres detallo y raíz (*Phytium* spp y *Phytophthora* spp.)

#### Control preventivo y técnicas culturales

- Limitar los riegos en condiciones favorables para el desarrollo de las podredumbres y aplicación localizada de fungicidas.
- Aireación del invernadero y control climático del mismo.
- Eliminar plantas enfermas
- Mantenimiento de una fertilidad equilibrada de la planta.

## Control biológico

*Trichoderma harzianum*, *asperellum*.

## Control químico

Ditianona, diodina, etridiazol, fosetil de aluminio + propamocarb, metil tiofanato, pencicuron, procloraz.

### 3.2. Bacteriosis

Mancha bacteriana (*Pseudomonas syringae* pv. *tomato* (Okabe)), médula negra (*Pseudomonas corrugata* (Roberts & Scarlett)), Chancro bacteriano (*Clavibacter michiganensis* (Smith)) y Podredumbre blanda (*Erwinia carotovora* subsp. *carotovora* (Jones)).

## Medidas de control

- Eliminación de malas hierbas, plantas y frutos enfermos.
- Manejo adecuado de la ventilación y el riego, reduciendo al máximo la humedad ambiental e impedir que sobre las plantas exista la presencia de agua libre.
- Utilizar semillas sanas o desinfectadas y plántulas sanas.
- Abonado equilibrado.
- Uso de pastas con cobre en heridas y daños en cultivo.
- Desinfección de herramientas.
- No realizar podas ni cortes con humedad relativa elevada, y realizarlos a ras de tallo.

## Control químico

Azibenzolar-S-metil, hidróxido cúprico, hidróxido cúprico+oxicloruro de cobre, oxicloruro de cobre, óxido cuproso, sulfato cuprocálcico y sulfato tribásico de cobre.

### 3.3. Virus

#### 3.3.1. Virus del rizado amarillo del tomate (TYLCD)

##### Medidas de Control

- Control del vector transmisor del virus.
- Utilizar trampas cromotrópicas (cintas adhesivas de color amarillo) para registrar la presencia de mosca blanca.
- Empleo de variedades resistentes y/o tolerantes.
- En el caso de cultivo en invernadero, evitar que en él se hayan precedido cultivos de plantas ornamentales como la poinsettia (*Euphorbia pulcherrima*) y la gerbera; ya que el TYLCD se ha registrado en estas dos especies.
- Limpieza de restos de cultivos anteriores.
- Eliminación de malas hierbas que pueden mantener la enfermedad.
- Uso de mosquiteras y mantas térmicas.

#### 3.3.2. Virus del mosaico del pepino dulce (PEPMV)

##### Medidas de Control

- Establecer medidas sanitarias y de control en los semilleros.
- Aplicar desinfectantes (fosfato trisódico 10 % y solución de lejía) en la estructura del invernadero que está en contacto con las plantas contaminadas.
- Desinfectar las tuberías con agua caliente.
- Higiene de las instalaciones y utensilios.
- Eliminar los restos vegetales, incluidas raíces, de los cultivos anteriores antes de realizar nuevas plantaciones.
- Destrucción de los sustratos en los que se haya detectado este virus en la plantación anterior.
- Realizar labores siguiendo el mismo recorrido por pasillos y filas del invernadero, desinfectando guantes y manos después de cada fila.
- Se recomienda dividir el invernadero en sectores de trabajo, en los cuales se utilizarán siempre los mismos utensilios y vestimenta.

- Localizada una planta infectada, debe ser señalada y arrancada con la mayor cantidad de sistema radicular posible con unos guantes desechables y debe introducirse en una bolsa cerrada y destruirse inmediatamente, desinfectando a continuación los guantes y la ropa. Es aconsejable eliminar las plantas colindantes.
- Instalación de preludios (alfombrillas) con líquido desinfectante en las entradas a los invernaderos.
- Eliminación de todos los restos de podas y deshojados generados.

### 3.3.3. Virus de la clorosis del tomate (ToCV)

#### Medidas de control

- Una vez instalado en el cultivo es imposible de erradicar.
- Control de nivel de mosca blanca
- Dada la falta de especificidad de los síntomas, detección precoz en laboratorio esencial para eliminar las primeras plantas afectadas.

## Referencias bibliográficas

- ANDRÉS, M. F. y VERDEJO, S. (2011): *Enfermedades causadas por nematodos fitoparásitos en España*. Ed. Phytoma; pp. 253.
- BLANCARD, D. (2011): *Enfermedades del tomate*. Ed. Mundi prensa; p. 680.
- INFOAGRO: *El cultivo del tomate*. [www.infoagro.com](http://www.infoagro.com)
- PLANAS DE MARTÍ, S. (2013): *Aplicación sostenible de productos fitosanitarios*. 2013. Edita Eumedia. 317 p.
- MAGRAMA (1991): *Las plagas del tomate: Bases para el control integrado*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación; p. 194.
- MAGRAMA (1993): *Las enfermedades del tomate: Bases para el control integrado*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación; p. 214.
- NAVARRO, V.; LARA, L. y FERNÁNDEZ, M. M. (2011): *Colección de fichas de organismos de control biológico en cultivos hortícolas protegidos*. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera, Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía; p. 48.

- NAVARRO, V.; LARA, L. y FERNÁNDEZ, M. M. (2011): *Colección de fichas de plagas en cultivos hortícolas protegidos*. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera, Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía; p. 36.
- ROBLEDO, A.; VAN DER BLOM, J.; SÁNCHEZ, J. A. y TORRES, S. (2009): *Control biológico en invernaderos hortícolas*. Coexphal; p. 176.
- TELLO, J. C. y CAMACHO, F. (2010): «Organismos para el control de patógenos en los cultivos protegidos. Prácticas culturales para una agricultura sostenible»; *Colección Agricultura* (9). Fundación Cajamar; p. 528.
- VERDEJO, S. (2009): «Manejo integrado de nematodos»; *Revista Horticultura* (213); pp. 10-12.



# Gestión de envases agroquímicos

*Victorino Martínez Puras*

Sigfito

Una agricultura sostenible aspira a producir alimentos seguros, garantizar la viabilidad económica para que las explotaciones sean autosuficientes, a la vez que logran generar empleo y, sobre todo, contribuyen a la conservación de los recursos naturales. Para la consecución de estos objetivos, el uso de los insumos debe realizarse con prudencia y rigurosidad.

La utilización de productos fitosanitarios se ha consolidado en la agricultura actual como una práctica fundamental para mejorar la sanidad de las plantas, y asegurar la calidad de los productos agrícolas. El uso incipiente de productos fitosanitarios conlleva una problemática ¿Qué hacer con estos envases industriales que quedan vacíos? Tradicionalmente «la manera correcta» de deshacerse de los envases vacíos de fitosanitarios era abandonarlos junto a ríos o incluso incinerados. No fue hasta la llegada de la Ley 11/1997 en la que el Gobierno comenzó a dar cobertura legal a la gestión de envases en España, pero las medidas adoptadas por el texto no obligaba a los fabricantes de productos fitosanitarios a adherir sus envases. Tres años más tarde se aprobará la Ley 14/2000 que permite añadir la excepción de la disposición adicional primera de la 11/1997 para que los productos fitosanitarios envasados deban ser puestos en el mercado a través de un Sistema de Depósito Devolución y Retorno o a través de un SIG. Esta excepción se formaliza a través del Real Decreto 1416/2001 sobre envases de productos fitosanitarios, y que permite la creación del Sistema de Recogida de envases (Sigfito) en el que los consumidores de productos tienen que depositar los envases vacíos en los puntos de recogida, situados generalmente en cooperativas o empresas de distribución y comercialización de productos fitosanitarios.

Figura 1.



Figura 2.



En concreto, el texto viene a reforzar la labor de concienciación del sistema de recogida Sigfito. Lo que antes eran recomendaciones de buenas prácticas para el agricultor, ahora se convierten en una obligación.

«*Un campo limpio de residuos es un campo más productivo*». Esta frase resume la esencia de la labor que desarrolla Sigfito Agroenvases, entidad sin ánimo de lucro que trabaja para hacer más fácil la tarea del reciclado de los envases agrarios en el medio rural, lo que garantiza su sostenibilidad.

Sigfito es un sistema de recogida de envases agrarios que contribuye a que la agricultura sea más competitiva y respetuosa con el medioambiente y es el primer sistema integrado creado en España para la gestión de los envases agrarios que impide que los elementos contaminantes de este tipo de producto dañen el entorno rural, el medioambiente y los seres vivos que en él habitan.

Tras consumir el producto, el profesional de la agricultura debe ser muy meticuloso y enjuagar tres veces los envases líquidos y verter el agua en la cuba de aplicación. Esta práctica favorece que el envase llegue completamente limpio a la planta de reciclaje.

Saltarse este proceso, por descuido o por desgana, puede hacer que restos del producto entren en contacto con otros elementos que pueden contaminar el medioambiente en las zonas rurales.

Sigfito dispone de una red de más de 3.000 puntos de recogida. Estos puntos son principalmente entidades distribuidoras y comercializadoras de productos fitosanitarios, cooperativas agrarias, grandes explotaciones y otros, bajo la lógica de que el agricultor deje sus envases usados, sobre todo, allí donde adquiere el producto nuevo. La participación de estas entidades en Sigfito es voluntaria y se concreta a través de un convenio de colaboración.

**Figura 3.**



**Figura 4.**



**Figura 5.**



El punto de recogida acepta cumplir una serie de requisitos para recibir y almacenar los envases en condiciones de seguridad. Estas entidades pasan a ofrecer un servicio de gran valor añadido para sus clientes o socios, adquiriendo una ventaja competitiva, ya que para los agricultores entregar los envases es obligatorio y existe una demanda creciente de este servicio. Además, en los puntos de recogida los agricultores deben solicitar albaranes que justifican de manera legal.

Es muy importante que los agricultores lleven los envases que contienen el logo de Sigfito, porque son los únicos que los puntos de recogida pueden aceptar.

El usuario deberá aislar escrupulosamente en una bolsa de plástico los envases dañados, los envases vacíos, y separar los restos de productos y los de cualquier vertido accidental que pudiera ocurrir, hasta la entrega al gestor de residuos correspondiente

Los productos fitosanitarios deberán guardarse cerrados, en posición vertical con el cierre hacia arriba y con la etiqueta original íntegra y perfectamente legible. Una vez abierto el envase, si no se utiliza todo su contenido, el resto deberá mantenerse en el mismo envase, con el tapón cerrado y manteniendo la etiqueta original íntegra y legible.

Una vez que los envases usados están vacíos, el agricultor debe almacenar los en una bolsa para posteriormente transportarlos al punto de recogida de Sigfito.

La labor de estos puntos de entrega es fundamental para que este sistema de recogida pueda funcionar. Allí, personalmente, un técnico agrícola se asegura de que los envases no contengan ningún tipo de residuo. Él mismo será el responsable de facilitar al agricultor un albarán de entrega, que puede ser en papel o en formato electrónico, que justifica la correcta entrega por parte del profesional agrario de los recipientes. Este certificado digital lleva impreso el logotipo de Sigfito, lo que a su vez justifica legalmente que el agricultor ha gestionado correctamente los envases de fitosanitarios.

Es muy importante saber que este documento deberá conservarlo, durante tres años. Además, con la nueva legislación, el lugar de venta de fitosanitarios se convierte a su vez en un punto informativo que asesora al agricultor sobre los usos de los productos y sobre los puntos de recogida de Sigfito más cercanos.

Por lo tanto, el agricultor debe, al menos, tener información suficiente para saber que tiene que hacer para reciclar los envases de Sigfito.

Una vez que los envases son recogidos, estos son transportados hasta las plantas de tratamiento donde se procederá a su reciclaje para la construcción de tuberías, maceteros y la fabricación de nuevos envases.

Otro destino también es la obtención de energía a partir de estos residuos. Este proceso se conoce con el nombre de valorización energética. En el traslado del material, Sigfito también juega un papel fundamental, pues vigilará que el traslado de los materiales se efectúe mediante un correcto embalaje de los mismos, con el objetivo de evitar que sean dañados.

Sigfito está financiado por los fabricantes y envasadores de productos fitosanitarios, que cumplen así con su obligación legal de gestionar sus envases

a través de un Sistema colectivo como Sigfito . Las empresas que no comercializan fitosanitarios pueden participar de forma voluntaria adhiriendo sus envases de fertilizantes, semillas, abonos etc. al sistema. Las empresas adheridas realizan una aportación proporcional al peso de los envases que ponen en el mercado, actualmente cuenta con más de 100 empresas adheridas al Sistema. Las aportaciones recibidas se destinan íntegramente en sufragar el coste de las recogidas, el transporte y la valorización de estos envases. La totalidad del mercado nacional de estos productos está adherido a Sigfito. A su vez, estas empresas incluyen en las etiquetas de sus productos el símbolo Sigfito, lo que identifica dichos envases como susceptibles de ser reciclados a través de los puntos del sistema.



# Certificación y trazabilidad

*Francisco Guillén Salmerón*

Proyecta Ingenio SL

El concepto de calidad es muy dinámico y cada vez más complejo. Si bien hace no más de 20 años los parámetros de calidad han estado relacionados con cualidades del producto como el tamaño, color, aspecto y sabor, hoy día el concepto es mucho más amplio y abarca otros aspectos en los que intervienen varios eslabones de la cadena de suministro, como son los criterios medioambientales, de seguridad laboral, sociales, de seguridad alimentaria, salubridad, etc.

Este dinamismo en el concepto de calidad, exige que los distintos agentes de la cadena de suministro deben ser capaces de reaccionar rápidamente, e incluso sea proactivos, de forma que sean ágiles en la adopción de medidas que satisfagan los criterios de calidad.

Una zona de producción que no sea capaz de asimilar la evolución del concepto de calidad, irá perdiendo cuota de mercado hasta su desaparición, sobre todo en un mundo tan globalizado como el actual en el que las condiciones climáticas, aun siendo un factor limitante, están dejando de ser una barrera infranqueable.

Esa calidad, además debe ir respaldada de una forma consistente a través de una certificación a través de una entidad independiente. Las certificaciones de primera parte (aquellas certificaciones que la empresa se autoasigna), como las certificaciones de tercera parte (aquellas certificaciones realizadas por el cliente), carecen de seriedad cada una por motivos distintos:

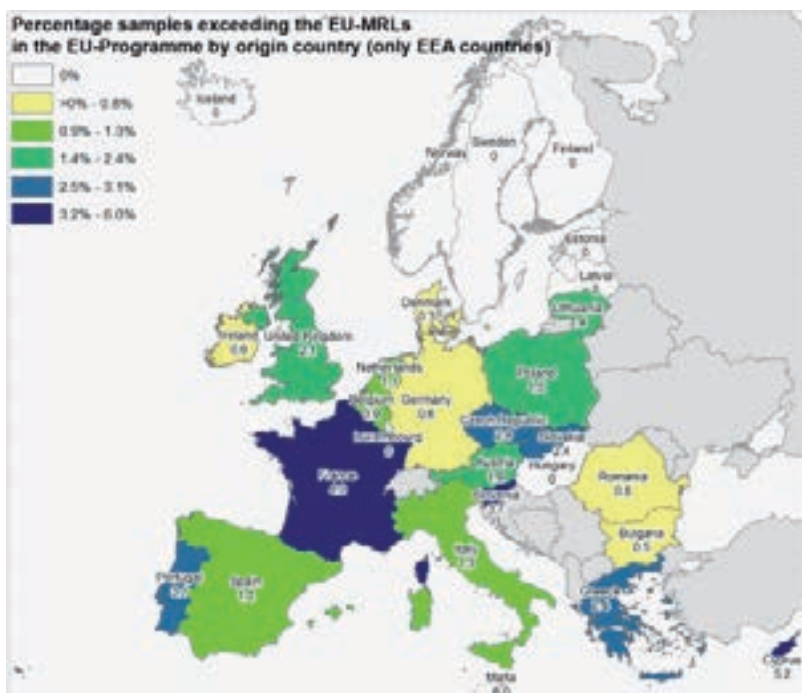
- La certificación de primera parte, al ser realizada por la empresa productora, carece de toda credibilidad.
- La certificación de segunda parte puede tener un resultado preconcebido. El resultado de esa auditoría es la admisión o no de una empresa productora como proveedora. Si el cliente que nos hace la auditoría tiene ya cubiertas sus necesidades de abastecimiento, el resultado será distinto a si esa mismo cliente necesita de forma urgente la ampliación de proveedores para cubrir sus necesidades.

La certificación de tercera parte, que es la que realiza una entidad independiente tanto de la parte productora como cliente, es la que garantiza que las empresas que obtiene la certificación, realmente están cumpliendo con los mínimos exigidos por la norma/protocolo bajo el que se audita.

Almería es un ejemplo de adaptación. En muchos casos, estas adaptaciones se han producido como reacción a problemas y en otros casos debido a la proactividad del sector.

Como ejemplo de reacción, cabe mencionar una alerta sanitaria que se originó a principios de 2007, con respecto a un producto fitosanitario utilizado en el cultivo de pimiento que hizo que el sector pasara una de las peores crisis que se conocen. El sector actuó rápidamente y ya en septiembre la provincia de Almería contaba con aproximadamente un 50 % de la producción de pimiento manejándose a través de técnicas de control integrado que redujeron de forma excepcional, la detección de no solo esa sustancia activa en concreto, sino de otras que aunque su uso está perfectamente regulado, dejaron de usarse por motivos de compatibilidad con los enemigos naturales. Este hecho ha producido a su vez una revolución en el campo de Almería, de forma que actualmente se puede decir que casi la totalidad de la producción de pimiento se realiza bajo técnicas de manejo integrado. Pero, lejos de ser una reacción que haya incomodado al sector, se ha producido un cambio radical en la percepción de los productores en cuanto a las mejores técnicas de control y han aprendido a convivir con las plagas y con sus enemigos naturales, manejándolas de una manera acorde con la producción. El hecho de que el control integrado de plagas haya funcionado en el cultivo de pimiento, ha animado a que estas técnicas sean aplicadas a otros cultivos mayoritarios en la provincia como el tomate, que se estima que ya supera el 50 % de su superficie en control integrado, de forma que el control integrado se ha convertido en la forma de manejo que quieren todos los productores y cada vez aumenta más tanto la superficie como los productos en los que se utilizan este tipo de técnicas. La implantación de técnicas de manejo integrado de plagas ha dado como resultado una mejora sustancial en la percepción general de la sociedad respecto las técnicas de cultivo en la provincia como en la reducción de muestras con superación de LMR.

**Figura 1. Porcentaje de muestras con superación LMR en el programa de la UE según el país de origen**



Fuente: Informe EFSA (2013).

Pero no todos los cambios han sido originados en situaciones de crisis. El sector ha sabido anticiparse a los cambios en los mercados y ha adoptado medidas que, si bien no han sido tan populares, sin duda han ayudado a mantener nuestra agricultura en la vanguardia a nivel tecnológico y de calidad. Como ejemplo, cabe citar que todos los requisitos de trazabilidad exigidos por el Reglamento 178/2002, ya estaban siendo cumplidos por más del 90 % de las empresas exportadoras de la provincia, antes de su entrada en vigor. Y es que España tiene una de las legislaciones más exigentes en materia de trazabilidad, higiene y seguridad alimentaria. El denominado paquete de higiene, y en concreto la publicación del Reglamento 852/2004 relativo a la higiene de los productos alimenticios, prácticamente no han tenido efecto sobre las industrias alimentarias debido a que la legislación española ya contemplaba estos requisitos y en algunos casos, incluso más restrictivos que los indicados en dicho Reglamento.

Todas las empresas españolas que pretendan producir alimentos, deben:

- Implantar un «Sistema de Autocontrol» que de cumplimiento a una serie de pre-requisitos a través de los denominados «Planes generales de higiene». Además, este sistema de autocontrol se debe completar con un «Sistema de Análisis de Peligros y Puntos de Control Crítico» que identifique todos los peligros físicos, químicos y microbiológicos que puedan afectar al producto y establecer medidas preventivas para que reducir o eliminar los peligros identificados.
- Implantar un sistema de trazabilidad que sea capaz de identificar tanto al suministrador de la materia prima como a los destinatarios del producto final, así como todas las fases por las que ha pasado dicho producto, junto con su material de envasado y aditivos.
- Implantar una Plan de Prevención de riesgos laborales.

Estas exigencias legales, en algunos casos no son suficientes para algunos mercados y exigen que las empresas que quieren exportar sus productos deban cumplir con requisitos adicionales. Si bien es cierto que las exigencias legales sitúan a las empresas españolas en una posición de partida en la que se cumplen una gran cantidad de requisitos de clientes.

Pero no vale solo con hacer las cosas bien, sino que además hay que demostrarlo, y es aquí donde entra en juego tanto la normalización como la certificación.

La normalización es el proceso de elaboración de normas pero, ¿quién elabora esas normas? Ya en el año 1995, el sector productor empezó a detectar que el buen hacer de los productores necesitaba darse a conocer y, para ello se produjo en el seno de la mayor asociación de grupos de productores de Almería (COEXPHAL), una iniciativa de elaboración de una norma que sirviera para:

- Mejorar el sistema de producción y manipulación.
- Dar a conocer estas mejoras.
- Dotar de una herramienta de comunicación objetiva a las empresas certificadas.

Todo esto a través de la transparencia y con la colaboración de todas las partes interesadas. Fruto de estos trabajos, en el año 1996 se crea, dentro de la Asociación Española de Normalización (AENOR), el comité CTN155 con el objetivo de elaborar una Norma de Buenas Prácticas Agrícolas que sirviera de guía para las empresas y productores que quisieran mejorar su forma de producir, y que una vez conseguido ese objetivo, fuera una entidad de certificación independiente la que realizara las labores de comprobación y certificación del cumplimiento de esas buenas prácticas agrícolas. De esta forma, se publicó la norma UNE 155000 de producción controlada de frutas y hortalizas.

Dentro de este comité de normalización están representadas todas las partes interesadas: Productores, minoristas (GLOBALG.A.P.), laboratorios, empresas de la industria fitosanitaria e incluso la administración estatal, de forma que se asegura que la norma cumpla con las necesidades de todos los grupos y sea de utilidad para todas las partes.

Esta norma, es un referente en el sector hortofrutícola español y cuenta con un gran reconocimiento por parte de las principales cadenas de distribución.

Aprovechando la revisión de la norma UNE 155000 que hubo que realizar en el año 2008 para mantener la homologación con GLOBALG.A.P., y para dar respuesta a las demandas de clientes y productores referentes a la certificación de las prácticas de manejo integrado de plagas, la norma UNE 155000 amplió su abanico de opciones de certificación, incluyendo la certificación voluntaria de «Lucha biológica contra plagas». De esta forma, la norma UNE 155000 se convirtió en la primera norma que certificaba el manejo de plagas a través de la lucha biológica.

Al mismo tiempo que se elaboraba la norma UNE 155000, un grupo de cadenas de distribución minoristas, unidas bajo la denominación de «Euro Retailer Working Group» (EUREP), elaboraron un protocolo propio de buenas prácticas agrícolas denominado EUREP-G.A.P. (actualmente GLOBALG.A.P.). Este grupo de minoristas está formado por las siguientes empresas:

Todos los integrantes de este grupo de minoristas llegaron al acuerdo de que a partir del 1 de enero de 2004, todos los proveedores deberían estar certificados por alguna de las opciones de certificación de GLOBALG.A.P.

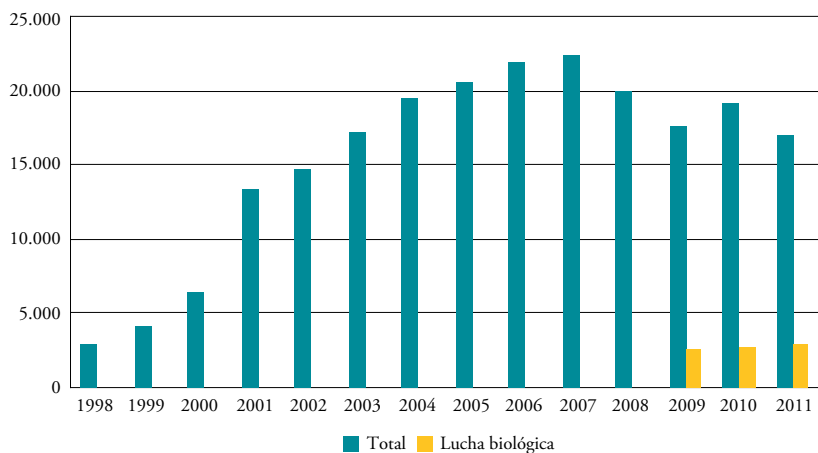
Esto supuso un aumento considerable del número de empresas, productores y superficie certificada por GLOBALG.A.P.

La norma UNE 155000 obtuvo la homologación con el protocolo GLOBALG.A.P. en el año 2001, año en el que se produjo un incremento sustancial en la superficie certificada debido precisamente a este reconocimiento.

Figura 2. Miembros de la GLOBALG.A.P. (2001)



Gráfico 1. Superficie hortofrutícola controlada por AENOR



Y es que hoy día, cualquier empresa hortofrutícola que quiera vender sus productos en Europa, debe contar al menos con la certificación GLOBALG.A.P.

Además de la certificación GLOBALG.A.P., la empresa deberá cumplir con otras normas o protocolos para atender las necesidades de sus clientes. A modo no exhaustivo, se indican las normas más demandadas junto con el cliente que exige dicha certificación:

- Nurture: Tesco.
- QS: Aldi, Tengelmann y Edeka.
- Leaf: Waitrose.
- BRC: Distribución inglesa.
- IFS: Distribución alemana, francesa, italiana.
- Field to Fork: Mark & Spencer.

Es muy habitual que una empresa cuente con varios certificados para atender la demanda de sus clientes. Así por ejemplo, una empresa que comercialice su producto en Reino Unido, tendrá que obtener una certificación GLOBALG.A.P. y, si quiere vender a Waitrose, deberá cumplir también con el protocolo LEAF.

Aunque existan multitud de certificaciones, todas suelen tener los mismos fines y dependiendo del mercado al que se dirige, incidirá más o menos en unos u otros aspectos. De forma general, las certificaciones tienen requisitos asociados a:

- Buenas prácticas agrícolas.
- Medioambiente.
- Seguridad laboral.
- Seguridad y salubridad.
- Bienestar social / responsabilidad social.
- Calidad del producto.

Al ser los requisitos muy parecidos entre las distintas normas/protocolo de calidad, las certificadoras se han adaptado y realizan auditorías en las

que comprueban los requisitos de varias normas/protocolos, consiguiendo un ahorro de costes a las empresas.

Los aspectos normativos que más se van a desarrollar van a depender de la zona de producción y de la sensibilidad del mercado al que se dirige la producción de esa zona. En muchas ocasiones, esa sensibilización del mercado viene dado por campañas de dudosa credibilidad realizadas por partes interesadas pero, independientemente de esto, son los productores los que deben aportar evidencias del cumplimiento de todos los requisitos de cliente y demostrarlo a través de una forma que sea veraz, como lo es una certificación.

La certificación es una herramienta que permite a las empresas poder demostrar a sus clientes y a la sociedad, el compromiso de cumplimiento de sus expectativas y esta herramienta debe ser utilizada por las empresas para afianzar los mercados de los que ya dispone, abrir nuevos mercados, asegurar un mantenimiento de la calidad en su sentido más amplio y estar en disposición de adaptarse a las necesidades cambiantes del mercado.

El desarrollo que ha tenido el sector hortofrutícola de la provincia, no habría sido posible sin el esfuerzo de los productores en realizar su trabajo de la mejor manera posible y siempre buscando la superación de las expectativas de los clientes. Pero ese esfuerzo quizás habría sido menos valorado si los productores no hubieran buscado el apoyo y el reconocimiento de su esfuerzo a través de entidades de certificación independientes que aseguran que las exigencias de calidad, están siendo cumplidas.