**Resultados y Discusión**

1. **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

**4.1. EVOLUCIÓN TERMOHIGROMÉTRICA SEGÚN ALTURA DE CULTIVO**

**4.1.1. EVOLUCIÓN TERMOHIGROMÉTRICA CULTIVO PEQUEÑO.**

**4.1.1.1 EVOLUCIÓN TERMOHIGROMÉTRICA MEDIA**

Los datos de temperatura y humedad media se presentan en la siguiente figura:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Hum.interior(%)** | **Hum.exterior(%)** | **Temp.interior(ºC)** | **Temp.exterior(ºC)** |
| **27/07/2010** | 73,00 | 49 | 27,56 | 26,40 |
| **28/07/2010** | 70,16 | 46 | 27,36 | 26,58 |
| **29/07/2010** | 72,32 | 51 | 26,87 | 26,35 |
| **30/07/2010** | 77,47 | 69 | 26,28 | 24,74 |
| **31/07/2010** | 82,83 | 74 | 25,87 | 24,51 |
| **01/08/2010** | 83,06 | 72 | 26,38 | 25,02 |
| **02/08/2010** | 83,05 | 69 | 26,32 | 25,51 |
| **03/08/2010** | 79,46 | 68 | 26,16 | 25,35 |
| **04/08/2010** | 79,15 | 64 | 25,37 | 25,03 |
| **05/08/2010** | 75,10 | 58 | 26,75 | 26,78 |
| **06/08/2010** | 74,97 | 62 | 26,11 | 25,87 |
| **08/08/2010** | 80,13 | 72 | 26,58 | 25,42 |
| **09/08/2010** | 83,05 | 69 | 26,16 | 25,03 |
| **10/08/2010** | 81,14 | 59 | 24,60 | 24,58 |
| **22/08/2010** | 75,91 | 61 | 25,70 | 25,03 |
| **24/08/2010** | 75,86 | 71 | 25,52 | 23,51 |
| **26/08/2010** | 78,81 | 72 | 23,31 | 21,25 |

**Figura 10: Datos termohigrométricos medios del interior y exterior durante los días del ensayo para un cultivo pequeño de tomate.**



**Figura 11.: Evolución de las temperaturas medias de todos los días del ensayo para un cultivo pequeño.**

Se observa como no se aprecia diferencia alguna en cuanto a la temperatura media del interior y exterior del invernadero.

Esta temperatura media, en ningún caso se eleva por encima de los 30 ºC, situándose alrededor de 25 ºC, considerándose esta temperatura como aceptable para el desarrollo de la mayoría de los cultivos.



**Figura 12. : Evolución de la humedad media en el interior del invernadero durante el periodo de ensayo para un cultivo pequeño.**

En cuanto a la humedad media que se da en el interior del invernadero, se sitúa en valores que van desde un 70% a valores por debajo del 85%. Estos valores se consideran bastante aceptables para el desarrollo del cultivo y para esta época del año, donde la humedad relativa exterior suele se muy baja. La humedad media exterior se situó en torno al 60 %.

Se aprecia como la humedad interior y exterior siguen la misma tendencia, aun cuando, como en nuestro caso, aportábamos humedad, evidenciando la fuerte dependencia que tienen las condiciones medioambientales exteriores en el interior del invernadero.

**4.1.1.2. EVOLUCIÓN TERMOHIGROMÉTRICA MÁXIMA Y MÍNIMA**

Para un mayor estudio de las condiciones ambientales límite de los cultivos, estudiamos la evolución de las temperaturas máximas y humedad mínima de todos los días del ensayo. Estas me dan una información más valiosa de las condiciones limitantes para el desarrollo del cultivo.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Hum.interior(%)** | **Hum.exterior(%)** | **Temp.interior(ºC)** | **Temp.exterior(ºC)** |
| **27/07/2010** | 92,00 | 35,80 | 29,80 | 35,60 |
| **28/07/2010** | 91,00 | 34,10 | 31,10 | 43,00 |
| **29/07/2010** | 89,00 | 33,30 | 30,20 | 45,10 |
| **30/07/2010** | 100,00 | 33,50 | 29,70 | 52,10 |
| **31/07/2010** | 100,00 | 30,30 | 27,70 | 65,00 |
| **01/08/2010** | 99,00 | 30,40 | 28,20 | 62,10 |
| **02/08/2010** | 100,00 | 30,00 | 28,40 | 65,50 |
| **03/08/2010** | 98,00 | 30,20 | 30,20 | 44,40 |
| **04/08/2010** | 90,00 | 31,00 | 32,30 | 61,00 |
| **05/08/2010** | 92,00 | 32,10 | 32,80 | 43,50 |
| **06/08/2010** | 91,00 | 31,80 | 31,60 | 45,00 |
| **08/08/2010** | 95,00 | 30,80 | 28,50 | 62,00 |
| **09/08/2010** | 100,00 | 30,50 | 28,40 | 63,00 |
| **10/08/2010** | 94,00 | 28,60 | 29,90 | 65,00 |
| **22/08/2010** | 99,00 | 32,00 | 28,50 | 48,50 |
| **24/08/2010** | 94,00 | 32,00 | 27,20 | 46,50 |
| **26/08/2010** | 93,00 | 29,30 | 24,60 | 54,40 |

**Figura 13: Datos termohigrométricos máximos del interior y exterior durante los días del ensayo para cultivo pequeño.**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Hum.interior(%)** | **Hum.exterior(%)** | **Temp.interior(ºC)** | **Temp.exterior(ºC)** |
| **27/07/2010** | 35,60 | 32 | 21,60 | 22,50 |
| **28/07/2010** | 43,00 | 24 | 22,00 | 22,30 |
| **29/07/2010** | 45,10 | 33 | 22,40 | 23,30 |
| **30/07/2010** | 52,10 | 40 | 21,40 | 20,80 |
| **31/07/2010** | 65,00 | 56 | 22,60 | 21,40 |
| **01/08/2010** | 62,10 | 53 | 23,90 | 23,30 |
| **02/08/2010** | 65,50 | 54 | 22,90 | 22,70 |
| **03/08/2010** | 44,40 | 30 | 22,40 | 21,90 |
| **04/08/2010** | 61,00 | 24 | 19,90 | 20,30 |
| **05/08/2010** | 43,50 | 27 | 22,60 | 22,30 |
| **06/08/2010** | 45,00 | 29 | 22,10 | 21,50 |
| **08/08/2010** | 62,00 | 53 | 22,90 | 22,60 |
| **09/08/2010** | 63,00 | 45 | 22,70 | 22,30 |
| **10/08/2010** | 65,00 | 38 | 21,60 | 21,50 |
| **22/08/2010** | 48,50 | 35 | 21,30 | 22,00 |
| **24/08/2010** | 46,50 | 36 | 21,30 | 20,30 |
| **26/08/2010** | 54,40 | 52 | 19,10 | 17,80 |

**Figura 14: Datos termohigrométricos mínimos del interior y exterior durante los días del ensayo para cultivo pequeño.**

El parámetro de humedad máxima y temperatura mínima no se representa ya que desde el punto de vista ecofisiológico, en estas épocas, estos parámetros no van a influir en el desarrollo del cultivo. Tanto la humedad máxima como la temperatura mínima se dan por la noche, no siendo valores limitantes para el cultivo.

Los parámetros que resultan interesantes para el estudio son la temperatura máxima y humedad mínima, los cuales se van a dar generalmente en las horas centrales del día.



**Figura 15: Evolución de las temperaturas máximas durante todos los días del ensayo y en el periodo con cultivo pequeño.**

La evolución de las temperaturas máximas indica que la temperatura máxima alcanzada en el interior en las horas centrales del día durante el periodo de ensayo se mantiene por debajo de los 35 ºC.

No se aprecian diferencias entre la temperatura exterior ni la interior, situándose la temperatura exterior en torno a los 30 ºC, típica de estas épocas del año.

El aporte de agua al sistema interior del invernadero hace que esta se evapore, disminuyendo la temperatura interior al reducirse la energía. Sin embargo, la principal causa por la que se produce esta reducción de temperatura, es por la disminución de radiación solar que entra al invernadero mediante el encalado.

En estas épocas del año, por las altas temperaturas interiores, los agricultores de la zona practican la técnica del encalado, que consiste en aplicar una solución de cal a la cubierta del invernadero. Mediante esta técnica se reduce la radiación que entra al invernadero, y como consecuencia, se reduce la temperatura. Esto se puede apreciar claramente al inicio del ensayo. El encalado se aplicó el 28/07/10 y se aprecia como la temperatura desciende de forma acentuada desde el primer día del ensayo hasta la aplicación del mismo.

Aunque el invernadero estaba provisto de mallas de sombreo para reducir la radiación solar, está demostrado que estas mallas instaladas dentro del invernadero, y principalmente en estas épocas, elevan la temperatura dentro del sistema, con lo que no son eficaces para conseguir ese clima óptimo.

Además, como se verá más adelante, el número de renovaciones está por debajo de las recomendadas, con lo que se hizo necesario el encalado de la cubierta.

Se observa como al final del periodo, la temperatura interior del invernadero está del orden de 3-5 ºC por encima de la exterior, y esto es debido a que en estos días se produjo una lluvia de verano, la cual lavó el plástico, perdiendo la cubierta de cal que reducía la entrada de radiación.

Queda patente que las temperaturas máximas tan altas propias de esta época del año (en torno a 30 ºC ), suponen una limitación para el desarrollo de los cultivos. El uso de la ventilación forzada reduce estas altas temperaturas del interior, sin embargo, como en nuestro caso, cuando el cultivo es pequeño y las renovaciones del aire interior están por debajo de las recomendadas, se hace necesario ayudar a la nebulización con otra técnica de reducción de la temperatura, como por ejemplo, el encalado.



**Figura 16: Evolución de la Humedad mínima de todos los días del ensayo y con el cultivo pequeño.**

En cuanto al régimen higrométrico, se observa como la humedad mínima del interior está siempre por encima de la exterior.

Hay que tener en cuenta que se intentó mantener una humedad en torno al 75 %, sin embargo, en las horas centrales del día, esta humedad relativa mínima se acercaba en algunas ocasiones a valores del 50 %. No obstante, estos valores mínimos de humedad no afectan de forma negativa al desarrollo de los cultivos, ya que no se acerca a los umbrales mínimos establecidos por diversos autores.

En cambio, niveles exteriores de humedad relativa mínima por debajo del 40 %, si pueden ocasionar daños fisiológicos a las plantas, y más aún en este estado fenológico de la planta, la cual no puede actuar como reguladora del clima al no poder evapotranspirar una cantidad de agua suficiente para elevar la humedad.

Esto hace ver la importancia del apoyo de la nebulización, para estas épocas del año y para este estado fenológico de la planta, ya que, como única fuente de agua, eleva la humedad relativa del interior del invernadero y disminuye la temperatura interior.

**4.1.1.3. EVOLUCIÓN TERMOHIGROMÉTRICA DIARIA**

Para evaluar con más detalle las condiciones medioambientales que se dan dentro del invernadero, se realizó un segundo nivel de estudio, en el que se estudian los parámetros de temperatura y humedad de varios días característicos y se evalúa si se producen las mismas tendencias que las medias, máximas y mínimas.



**Figuras 17: Evolución de la temperatura de varios días característicos durante el periodo de ensayo para un cultivo pequeño.**

En la evolución de los días característicos se puede observar como no existen diferencias entre la temperatura interior y la exterior. En la totalidad de los casos la temperatura la temperatura interior no excedía de los 30 ºC, a excepción de los días en los que no estaba blanqueado en invernadero (27/07/10) o fue limpiado por la lluvia (22/08/10; 26/08/10), en los que las diferencias de temperatura interior y exterior son apreciables, elevándose la temperatura interior del orden de 4 ºC-5 ºC por encima de la temperatura exterior, centrándose en las horas centrales del día.

Se pone de manifiesto que la temperatura alcanzada es demasiado elevada para los medios utilizados. El aporte de agua mediante el sistema de nebulización, así como la reducción de radiación incidente en el invernadero mediante el blanqueo de la cubierta plástica y junto con la ventilación forzada, debería haber conseguido niveles de temperatura por debajo de los obtenidos, siendo la causa de haber alcanzado estos niveles, las bajas tasas de renovación que tenemos en el invernadero, como se verá con posterioridad.

Se pone de manifiesto que en estas épocas estivales, las condiciones ambientales de estas zonas son bastantes limitantes para la mayoría de los cultivos de la zona, siendo necesario, para conseguir condiciones lo más cercanas a las óptimas, un número de renovaciones de aire cercano al recomendado y apoyo de sistemas de refrigeración.

En estudio higrométrico de los días característicos, se muestra la siguiente evolución:



**Figuras 18: Evolución de la humedad de varios días característicos durante el periodo de ensayo para un cultivo pequeño.**

Como se indicó, se intentó mantener un nivel de humead cercano al 75 %, sobre todo en las horas centrales del día. Como se aprecia, el nivel de humedad que se obtiene no baja del 70 % en los días en los que el invernadero estaba blanqueado (4/08/10 y 6/08/10). Sin embargo y al igual que ocurría en el estudio térmico, se produce una bajada higrométrica en las horas centrales del día por debajo del 60 % cuando esta cubierta de cal desaparece (22/08/10 y 26/08/10).

**4.1.2. EVOLUCIÓN TERMOHIGROMÉTRICA EN PRESENCIA DE UN CULTIVO GRANDE**

Se realizó un ensayo de evolución térmica dentro del invernadero en presencia de cultivo que se encontraba en una fase de recolección donde la altura de este era de 4,5 metros. La presencia de cultivo supone una barrera al flujo de aire interno del invernadero, el cual va a definir las condiciones termohigrométricas del interior.

En este ensayo se intentó mantener una humedad relativa interior entre el 75-80 %, y para ello se utilizó nebulización de alta presión.

El periodo de ensayo en el que se realizaron las medidas fue desde el 17/05/10 hasta el 25/06/10. Durante este periodo se tomaron datos climáticos de temperatura y humedad del interior y exterior del invernadero.

En un primer nivel, se estudió la evolución termohigrométrica media, máxima y mínima de los parámetros estudiados durante todos los días del ensayo.

En un segundo nivel se estudiará la evolución térmica e higrométrica de varios días característicos.

**4.1.2.1. EVOLUCIÓN TERMOHIGROMÉTRICA MEDIA**

En el siguiente cuadro se presentan los datos de temperatura y humedad media del ensayo:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Hum.interior(%)** | **Hum.exterior(%)** | **Temp.interior(ºC)** | **Temp.interior(ºC)** |
| **17/05/2010** | 72,73 | 71 | 25,29 | 19,87 |
| **18/05/2010** | 76,42 | 56 | 21,67 | 18,77 |
| **19/05/2010** | 76,81 | 49 | 21,63 | 18,97 |
| **20/05/2010** | 70,07 | 39 | 22,31 | 20,37 |
| **21/05/2010** | 73,92 | 58 | 21,46 | 18,68 |
| **22/05/2010** | 81,10 | 75 | 21,92 | 18,31 |
| **23/05/2010** | 73,73 | 55 | 21,12 | 18,32 |
| **24/05/2010** | 71,65 | 46 | 21,44 | 19,62 |
| **25/05/2010** | 78,43 | 65 | 22,33 | 19,76 |
| **26/05/2010** | 78,50 | 66 | 22,58 | 19,58 |
| **27/05/2010** | 74,72 | 48 | 22,03 | 19,65 |
| **28/05/2010** | 79,83 | 66 | 21,44 | 18,56 |
| **29/05/2010** | 71,49 | 40 | 22,47 | 20,86 |
| **30/05/2010** | 75,56 | 49 | 22,58 | 21,66 |
| **31/05/2010** | 80,02 | 61 | 22,59 | 21,44 |
| **01/06/2010** | 78,46 | 66 | 23,64 | 21,23 |
| **02/06/2010** | 79,37 | 72 | 23,67 | 20,95 |
| **03/06/2010** | 82,25 | 75 | 23,17 | 20,09 |
| **04/06/2010** | 79,21 | 68 | 22,26 | 18,46 |
| **06/06/2010** | 77,33 | 61 | 21,00 | 17,68 |
| **07/06/2010** | 77,37 | 58 | 21,81 | 19,16 |
| **08/06/2010** | 78,28 | 64 | 20,47 | 17,62 |
| **09/06/2010** | 71,36 | 37 | 20,92 | 19,14 |
| **10/06/2010** | 72,97 | 38 | 22,04 | 21,17 |
| **12/06/2010** | 70,24 | 31 | 23,92 | 24,05 |
| **13/06/2010** | 55,70 | 21 | 27,04 | 27,23 |
| **14/06/2010** | 65,60 | 37 | 25,87 | 25,62 |
| **15/06/2010** | 71,30 | 46 | 25,33 | 24,15 |
| **17/06/2010** | 69,03 | 53 | 26,93 | 24,83 |
| **19/06/2010** | 82,43 | 70 | 24,01 | 22,49 |
| **20/06/2010** | 76,52 | 71 | 25,18 | 22,84 |
| **21/06/2010** | 67,82 | 56 | 28,23 | 26,45 |
| **23/06/2010** | 77,59 | 67 | 26,42 | 23,98 |
| **24/06/2010** | 83,06 | 76 | 25,32 | 22,40 |
| **25/06/2010** | 80,56 | 51 | 26,88 | 24,57 |

**Figura 19: Datos termohigrométricos medios del interior y exterior durante los días del ensayo para un cultivo grande de tomate.**



**Figura 20: Evolución de las temperaturas medias de todos los días del ensayo para un cultivo grande.**

La evolución térmica media de los días del ensayo, muestra que se consiguió una temperatura media interior muy próxima a la temperatura media exterior. Se mantuvo una temperatura media de 2ºC-3ºC por encima de la exterior.

La temperatura media exterior se mantuvo alrededor de 20 ºC hasta el 10/06/10, donde la temperatura media sufre un ascenso progresivo, típico de estas épocas, hasta los 25 ºC.

Estas condiciones serían aptas para el desarrollo de los cultivos hortícolas de la zona, con lo que una buena ventilación tendría como objetivo igualar las condiciones del interior con las condiciones medioambientales del exterior.

Esta diferencia de temperatura media muestra como el sistema de ventilación forzada mantiene dentro del invernadero unas condiciones medioambientales óptimas para el desarrollo de los cultivos. No obstante, no debe olvidarse, que este periodo, se ha utilizado nebulización, y que además, el echo de que las plantas se encuentren en un estado adulto, estas son capaces de mantener un microclima interior más fresco gracias a la transpiración.

Otra ventaja que debe tenerse en cuenta es el comportamiento del sistema frente a la acción de vientos secos de componente Este, los cuales son muy frecuentes en estas épocas de año y que debido a la acción directa de los mismos, provocan daños en los cultivos, como por ejemplo deshidrataciones en las hojas.

En la gráfica anterior puede verse este hecho, y se observa como los días del 12/06/10 al 14/06/10 la temperatura media exterior sube debido a la acción de vientos secos de levante, en la que la humedad relativa exterior alcanza valores muy bajos (30%). En estos días, se observa como la temperatura media interior se iguala con la exterior, ya que este aire seco y caliente no entra directamente en el interior del invernadero, y el que entra por los ventiladores es refrescado en el interior de este.



**Figura 21: Evolución de la humedad media en el interior del invernadero durante el periodo de ensayo para un cultivo grande.**

La humedad interior del invernadero se intentó mantener en torno al 75 -80 %. En la evolución higrométrica se aprecia como esta humedad media interior se mantiene en estos valores, gracias a la humedad aportada y a la evapotranspiración que produce el cultivo.

La humedad media exterior sufre gran cantidad de cambios debido, principalmente, a la aparición en estas épocas del año de vientos secos de levante (componente Este) que bajan la humedad ambiente.

La cantidad de agua que aporta el sistema de nebulización se produce de forma automática en función de una humedad programada. Además, el cultivo en la fase en la que se encuentra, tienen un alto índice de transpiración, con lo que las propias plantas aportan humedad al sistema, reduciendo la temperatura interior del invernadero.

**4.1.2.2. EVOLUCIÓN TERMOHIGROMÉTRICA MÁXIMA Y MÍNIMA**

En cuanto a la evolución de las temperaturas y humedad máximas y mínimas, se tienen los siguientes valores:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Hum.interior(%)** | **Hum.exterior(%)** | **Temp.interior(ºC)** | **Temp.interior(ºC)** |
| **17/05/2010** | 91,00 | 86 | 29,50 | 22,20 |
| **18/05/2010** | 94,00 | 85 | 28,10 | 22,70 |
| **19/05/2010** | 94,00 | 79 | 28,20 | 21,40 |
| **20/05/2010** | 93,60 | 53 | 30,30 | 24,90 |
| **21/05/2010** | 93,00 | 90 | 29,30 | 23,50 |
| **22/05/2010** | 95,00 | 90 | 29,60 | 20,90 |
| **23/05/2010** | 93,00 | 82 | 28,40 | 22,30 |
| **24/05/2010** | 94,00 | 87 | 28,60 | 24,70 |
| **25/05/2010** | 94,80 | 85 | 31,60 | 27,20 |
| **26/05/2010** | 94,50 | 86 | 30,10 | 25,30 |
| **27/05/2010** | 94,00 | 76 | 28,70 | 22,40 |
| **28/05/2010** | 94,00 | 86 | 26,90 | 21,00 |
| **29/05/2010** | 95,00 | 84 | 29,60 | 25,50 |
| **30/05/2010** | 95,00 | 86 | 29,60 | 26,70 |
| **31/05/2010** | 96,00 | 87 | 29,10 | 26,40 |
| **01/06/2010** | 96,00 | 86 | 29,50 | 25,30 |
| **02/06/2010** | 96,00 | 92 | 30,30 | 24,90 |
| **03/06/2010** | 95,60 | 90 | 28,90 | 23,30 |
| **04/06/2010** | 95,70 | 85 | 27,20 | 20,70 |
| **06/06/2010** | 94,50 | 88 | 28,10 | 23,90 |
| **07/06/2010** | 95,00 | 82 | 28,20 | 23,50 |
| **08/06/2010** | 95,00 | 86 | 26,70 | 20,90 |
| **09/06/2010** | 94,60 | 75 | 27,40 | 23,40 |
| **10/06/2010** | 94,00 | 67 | 30,70 | 28,50 |
| **12/06/2010** | 97,00 | 52 | 34,70 | 29,60 |
| **13/06/2010** | 95,00 | 53 | 34,20 | 31,70 |
| **14/06/2010** | 96,00 | 61 | 33,10 | 30,60 |
| **15/06/2010** | 96,00 | 74 | 35,20 | 30,70 |
| **17/06/2010** | 95,00 | 73 | 33,60 | 28,30 |
| **19/06/2010** | 96,00 | 83 | 31,60 | 26,00 |
| **20/06/2010** | 96,00 | 91 | 32,10 | 27,90 |
| **21/06/2010** | 95,00 | 91 | 33,60 | 29,30 |
| **23/06/2010** | 96,00 | 86 | 34,90 | 28,30 |
| **24/06/2010** | 97,00 | 91 | 32,90 | 24,90 |
| **25/06/2010** | 96,00 | 85 | 34,60 | 31,20 |

**Figura 22: Datos termohigrométricos máximos del interior y exterior durante los días del ensayo para cultivo grande.**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Hum.interior(%)** | **Hum.exterior(%)** | **Temp.interior(ºC)** | **Temp.interior(ºC)** |
| **17/05/2010** | 58,00 | 55 | 18,60 | 16,90 |
| **18/05/2010** | 51,50 | 33 | 15,60 | 15,10 |
| **19/05/2010** | 49,90 | 32 | 15,40 | 15,10 |
| **20/05/2010** | 38,80 | 21 | 16,40 | 16,30 |
| **21/05/2010** | 43,70 | 30 | 13,30 | 13,20 |
| **22/05/2010** | 60,50 | 61 | 16,00 | 15,20 |
| **23/05/2010** | 42,60 | 32 | 14,50 | 14,00 |
| **24/05/2010** | 41,60 | 23 | 13,80 | 14,40 |
| **25/05/2010** | 46,40 | 34 | 14,40 | 14,50 |
| **26/05/2010** | 50,00 | 45 | 16,60 | 16,20 |
| **27/05/2010** | 49,00 | 33 | 15,30 | 15,80 |
| **28/05/2010** | 60,70 | 45 | 15,10 | 15,40 |
| **29/05/2010** | 37,80 | 18 | 14,80 | 15,60 |
| **30/05/2010** | 48,00 | 25 | 16,60 | 18,20 |
| **31/05/2010** | 56,00 | 36 | 17,70 | 17,70 |
| **01/06/2010** | 48,00 | 48 | 17,60 | 18,00 |
| **02/06/2010** | 53,00 | 48 | 17,40 | 16,70 |
| **03/06/2010** | 58,10 | 56 | 18,10 | 17,40 |
| **04/06/2010** | 56,00 | 54 | 17,30 | 15,60 |
| **06/06/2010** | 43,50 | 34 | 14,00 | 13,50 |
| **07/06/2010** | 52,50 | 38 | 15,20 | 15,40 |
| **08/06/2010** | 45,60 | 37 | 15,80 | 15,00 |
| **09/06/2010** | 41,00 | 22 | 13,50 | 13,80 |
| **10/06/2010** | 36,00 | 16 | 14,10 | 14,90 |
| **12/06/2010** | 31,00 | 14 | 17,90 | 19,70 |
| **13/06/2010** | 26,50 | 10 | 21,50 | 20,90 |
| **14/06/2010** | 34,40 | 13 | 20,80 | 20,40 |
| **15/06/2010** | 37,50 | 13 | 18,00 | 18,40 |
| **17/06/2010** | 43,00 | 40 | 20,80 | 20,40 |
| **19/06/2010** | 55,00 | 51 | 18,70 | 19,40 |
| **20/06/2010** | 46,00 | 43 | 19,90 | 19,60 |
| **21/06/2010** | 43,30 | 28 | 20,80 | 20,10 |
| **23/06/2010** | 46,40 | 34 | 20,60 | 20,30 |
| **24/06/2010** | 56,50 | 56 | 20,00 | 19,50 |
| **25/06/2010** | 44,60 | 19 | 20,90 | 21,10 |

**Figura 23: Datos termohigrométricos mínimos del interior y exterior durante los días del ensayo para cultivo grande.**

Los parámetros de estudio más importantes son la temperatura máxima y la humedad mínima, que se dan en las horas centrales del día. Estos nos aportaran información de las condiciones límite que sufre el cultivo y poder evaluar el clima interior del invernadero en estas épocas del año.



**Figura 24: Evolución de las temperaturas máximas durante todos los días del ensayo y en el periodo con cultivo grande.**

Las temperaturas máximas alcanzadas a lo largo de todos los días del periodo de ensayo se mantuvieron en torno a los 30 ºC hasta el 10/06/10. A partir de estos días, se produce un ascenso de las temperaturas máximas situándose en valores cercanos a los 35 ºC.

Se tiene una diferencia entre el exterior y el interior de 4-5 ºC aproximadamente.

Aunque estos valores de temperatura máxima no son excesivamente elevados para el desarrollo de cultivos hortícolas, si pueden ocasionar daños a las plantas en algún estado fenológico.

Como apoyo a la ventilación forzada se aplicaba nebulización, reduciéndose la temperatura. Además se tiene que considerar que el propio cultivo actúa como un sistema de refrigeración mediante la evapotranspiración.

Sin embargo, el aumento de la temperatura máxima exterior en estas épocas de año hasta los meses de Agosto-Septiembre, hace necesario aplicar otra técnica para reducir temperatura en el interior como, por ejemplo, el encalado, que como se vio en el ensayo con cultivo pequeño, redujo la temperatura interior hasta igualarla a la temperatura exterior.



**Figura 25: Evolución de la Humedad mínima de todos los días del ensayo y con el cultivo grande.**

Como se producía aporte de humedad, bajos valores de esta en el exterior no afectaría a los cultivos del interior del invernadero. Durante todo el ensayo se consiguió que la humedad mínima interior estuviera por encima de la exterior.

Pero si se aprecia una influencia en el clima interior observándose como la evolución de la humedad en el interior sigue la misma tendencia que en el exterior, es decir, coinciden en el mismo tiempo las subidas y bajadas de humedad.

Esto evidencia que, para la ventilación forzada, las condiciones exteriores afectan de forma importante a las condiciones que se dan en el interior.

**4.1.2.3. EVOLUCIÓN TERMOHIGROMÉTRICA DIARIA**

Pero las temperaturas medias no proporcionan una información precisa sobre los periodos de estrés que sufre la planta a lo largo de un día. Para ello escogemos días característicos.



**Figuras 26: Evolución de las temperaturas de varios días característicos en presencia de un cultivo de tomate grande.**

En la elección de días característicos, se observa como en las horas centrales del día, donde se alcanzan las temperaturas más altas, la diferencia entre el interior y el exterior es de aproximadamente 5-7 ºC.

La diferencia de temperatura encontrada, hace prever que en días de alta temperatura, el interior del invernadero alcance temperaturas demasiado elevadas para el cultivo.

Además, esta diferencia de temperatura es demasiado alta teniendo en cuenta que se apoya con un sistema de refrigeración. Ello plantea que la causa de esta gran diferencia puede estar en la falta de renovación de aire del interior del invernadero o que la aportación de agua mediante la nebulización a alta presión fue insuficiente.

Más adelante se evaluará el nivel real de renovación de aire proporcionado por los ventiladores mediante la técnica del gas trazador.

Cabe notarse como la temperatura del invernadero sube en el momento de desconexión de los ventiladores en los días del 18/05/10 al 2/06/10. A las 20:00 horas, los ventiladores fueron programados para observar como se eleva la temperatura, y la respuesta a este fenómeno es inmediata, observándose como al detenerse los ventiladores la temperatura sube del orden de 2ºC al atardecer, cuando la tendencia era descendente.

La importancia de este dato es esencial para evaluar en que momento sería conveniente desconectar el sistema de ventilación para ahorrar costes de funcionamiento, ya que muchos de los controladores climáticos funcionan mediante horario y se debe programar en función de este parámetro de tiempo. Los controladores que, mediante sensores de temperatura, gobiernan los ventiladores minimizan el gasto de corriente al desconectarse a la temperatura deseada.



**Figuras 27: Evolución de la humedad de varios días característicos durante el periodo de ensayo para un cultivo grande.**

Aun aportando una cantidad de agua al sistema interior del invernadero y con un cultivo de tomate grande, la humedad alcanzada en las horas centrales del día está muy por debajo de la marcada.

Esto se ha debido a que la conexión de la nebulización se hacía de forma manual intentando que los valores no bajasen del 65-70 %, sin embargo, en las horas centrales del día, donde la radiación es mayor, alcanzándose altas temperaturas, y existiendo bajos niveles de humedad en el exterior, se hacía difícil controlar esta humedad interior existiendo un déficit.

Quizás si se hubiese conectado la nebulización a un equipo de control, esta humedad no hubiese sido tan baja y la cantidad de agua aportada hubiera sido mayor, consiguiendo los niveles propuestos. Además, con un aporte de agua mayor, se hubiese bajado la temperatura interior.

**4.2. DATOS AGROMÓMICOS**

**4.2.1. SEGUIMIENTO DEL CULTIVO.**

Seguidamente mostraré las tendencias de CE y pH obtenidas a lo largo del cultivo en gotero, drenaje y saco.



**Figura 28. Evolución de Conductividad Eléctrica en gotero en los sectores 1 y 2.**



**Figura 29. Evolución de Conductividad Eléctrica en drenaje en los sectores 1 y 2.**



**Figura 30. Evolución de Conductividad Eléctrica en saco en los sectores 1 y 2.**

Al inicio del cultivo se empezó con una CE de entrada alrededor de 2 ms/cm para elevarla a un valor cercano a 2,5 ms/cm.

Durante este periodo se mantuvo una CE en saco y drenaje alrededor de 3 ms/cm. A partir del 25/04/10 aproximadamente, la CE del drenaje y saco sufre un aumento casi lineal debido a un aumento de la CE en saco. También en estas fechas se empiezan a producir altas temperaturas con lo que la planta demanda niveles de agua mayores. La planta absorbe más agua elevando la CE en saco y drenaje siendo necesario aportar cantidades de agua mayores.

Al final de periodo, la CE en saco y drenaje se eleva por encima de 5 ms/cm, haciéndose necesario bajar la CE de entrada y realizar riegos de lavado nocturnos. Estos riegos pueden hacerse con agua sola o con solución nutritiva a baja CE.

Otro factor que eleva la CE en saco y drenaje es la falta de agua aportada al cultivo. Para evaluar esta posibilidad, se muestra las siguientes gráficas de aporte de agua y evolución del porcentaje de drenaje.

**Figura 31. Consumo de agua en litros/planta.**



**Figura 32. Evolución del porcentaje de drenaje en sector 1 y 2.**



Se ha intentado mantener un porcentaje de drenaje entre el 25-30%. Aproximadamente el día 25/04/10 baja el drenaje hasta valores por debajo del 10 %, que coincide con el periodo en el que la CE en drenaje y saco empieza a aumentar. Esta falta de agua debido al aumento del consumo hídrico hizo elevar tanto la CE en saco y drenaje. No obstante, para esta CE eléctrica no se observaron daños en la planta ni cambio fisiológico alguno.

**4.2.2. DATOS DE PRODUCCIÓN**

A partir de la primera cosecha se realizó un seguimiento de la producción de cada una de las variedades de tomate. Según datos obtenidos la variedad más productiva fue la *var. Caramba* con un rendimiento de 12.8 Kg/m2 siendo la mayoría de la producción de calibre G-GG.

**Figura 33. Evolución de la producción en tomate Caramba (Sector 1)**

28/05/10 04/06/10 11/06/10 18/06/10 25/06/10 02/07/10 09/07/10 16/07/10



Los picos más altos de productividad los encontramos a fechas de primeros de Junio con un pico de casi 650 Kg de los cuales prácticamente un 70% resultan ser de calibre G-GG. Después de esta fecha la producción baja sensiblemente para poco después reestablecerse y mantenerse más o menos uniforme con una media de 300 kg. Esta variedad resulta ser una variedad de gran calidad con alto calibre y con un buen rendimiento que no produce prácticamente destrío.

Con el sector de tomate *durinta* nos encontramos con un caso similar al anterior, prácticamente la totalidad de la producción resulta ser de primera. En este caso se trata de tomate cuya recogida se realiza en ramo no suelto de ahí que no comparemos calibres de tomate individual sino en general del ramo así como su aspecto referido a la formación adecuada del ramo.

Según los datos obtenidos vemos como la totalidad de la producción conseguida es ramo 1ª siendo la producción de destrío casi inapreciable. En

22/05/10 29/05/10 05/06/10 12/06/10 19/06/10 26/06/10 03/07/10 10/07/10 17/07/10

Durinta es a finales del mes de Junio donde se produce el pico más notorio con más de 1.000 Kg de tomates recogidos disminuyendo después la producción paulatinamente.

28/05/10 04/06/10 11/06/10 18/06/10 25/06/10 02/07/10 09/07/10 16/07/10



**Figura 34. Evolución de la producción en tomate *durinta* (sector 2).**

A pesar de su gran calidad esta variedad resultó ser menos productiva que *caramba* en las mismas condiciones de cultivo con un rendimiento de 11 kg/m2

**4.2.3. DATOS DE CRECIMIENTO**

Los datos de crecimiento fueron tomados con una frecuencia semanal, siempre en el mismo día y durante el mismo periodo del día.

Con datos de altura en planta de ambas variedades pudimos realizar un estudio comparativo entre ambas y observar la evolución de ambas.

**Figura 35. Evolución del crecimiento en altura de variedades de sector 1 y 2.**

16/04 23/04 30/04 07/05 14/05 21/05 28/05 04/06 12/06 19/06



La evolución en el crecimiento de ambas variedades es muy similar, llevando una evolución lineal en todo momento siendo la pendiente del durinta un poco más acentuada pero muy cercana al caramba siendo más apreciable la diferencia entre ambos conforme avanzaba la campaña. Esta diferencia puede ser debida a que el durinta tiene un crecimiento más acelerado y más acentuado en altura a diferencia del caramba cuyo crecimiento es más acentuado en anchura con mayores dimensiones en hojas y en diámetro de tallo.

**Figura 36. Evolución del incremento en altura en tomate caramba y durinta.**

16/04 23/04 30/04 07/05 14/05 21/05 28/05 04/06 12/06 19/06



Como vemos los datos de incremento en altura confirman lo anteriormente dicho, es el durinta el que crece con mayor rapidez pero no con excesiva diferencia entre ellos. El crecimiento prácticamente se mantiene durante la mayor parte del tiempo dentro de unos límites, entre 20-25 cm aumentando sensiblemente a partir de principios de Junio donde se produce el pico más evidente aunque poco significativo.

**4.3. DISTRIBUCIÓN VERTICAL Y HORIZONTAL DE TEMPERATURAS SEGÚN UTILIZACIÓN DE VENTILADORES**

**4.3.1. DISTRIBUCIÓN VERTICAL DE TEMPERATURAS**

Los datos necesarios para la realización de este estudio, se tomaron con una frecuencia de treinta minutos en el intervalo de tiempo comprendido entre las 9:30 horas y las 20:00 diariamente, durante un periodo de 15 días (del 22 de Abril hasta 6 de Mayo del 2010).

Los valores medios correspondientes a este periodo y para cada una de las horas de muestreo se reflejan en la siguiente tabla:



Figura 37: Datos de temperatura a distinta altura en un invernadero con ventilación forzada.



Figura 38: Gradiente vertical de temperatura en el interior del invernadero.

Podemos observar que existe una pequeña diferencia a favor de la medida realizada a 4,10 m de altura, siendo en algunos casos de 3-4 ºC inferior con respecto a las demás.

Esta pequeña diferencia puede deberse a que esa es la altura a la que se encontraban los ventiladores. Esto muestra que probablemente el flujo de aire siguiera una dirección paralela al suelo y a esta altura. Sería interesante estudiar este fenómeno, pues, aunque esto sólo es una suposición, cabe pensar que siempre que la altura del cultivo esté por debajo de esta altura, la tasa de renovación de aire no se verá influenciada. En un apartado posterior se estudiará si se varía la tasa de renovación de aire en función de la altura del cultivo.

Sin embargo, esta diferencia puede considerarse despreciable desde el punto de vista térmico y establecer que no existe diferencia vertical en temperatura cuando se utiliza ventilación forzada, y más aún cuando se utilizan destratificadores ayudar al flujo de aire y para homogeneizar el aire interior.

**4.3.2.. DISTRIBUCIÓN HORIZONTAL DE TEMPERATURAS EN FUNCIÓN DEL SENTIDO DE GIRO DE LOS VENTILADORES**

En este ensayo, se tomaron datos para comprobar la diferencia de temperatura y determinar la acumulación de calor existente entre la zona de entrada del aire del exterior (lado Sur el invernadero) y la zona de salida del mismo (zona Norte), para lo cual se instalaron sendos termómetros en cada una de las zonas indicadas.

En el caso estudiado, se introducía aire por la cara Sur del invernadero y se evacuaba por la cara Norte.

Los datos obtenidos fueron los siguientes:



**Figura 39: Distribución de temperatura en ambas caras del invernadero.**



**Figura 40: Evolución de las temperaturas a ambas caras del invernadero en función del sentido de giro de los ventiladores.**

Las temperaturas mayores se dan en la cara Norte del invernadero, elevándose estas por encima de los 5 ºC de diferencia con respecto a los obtenidos en la cara Sur.

Según las recomendaciones de la ASAE, se debe introducir aire por la cara Norte del invernadero para evitar que el aire caliente recorra la zona de cultivo. De esta forma, se introduce un aire fresco por el lado Norte que se va calentado al recorrer el interior del invernadero para finalmente salir por los extractores situados al Sur.

En nuestro caso, en la cara Sur se produce un calentamiento del aire por el efecto banda. Este aire caliente, por diferencia de densidad, tiende a desplazarse a las zonas altas del invernadero, acumulándose en ellas. Con ello se produce una acumulación de calor en este lado Sur, apareciendo ese gradiente de temperatura tan alto entre una cara y otra.

Sin embargo, diversos estudios muestran que el sistema de humidificación es más eficiente cuanto más seco es el aire de entrada, con lo que la entrada de aire por la cara sur evaporaría más cantidad de agua.

A pesar de esto último, parece evidenciarse que se debe introducir aire por la cara Norte del invernadero, por la cual siempre se va a introducir un aire más fresco que en la cara Sur. De esta forma se evita que el calor producido en la cara sur por el efecto banda recorra la zona de cultivo, provocando perjuicios al mismo.

**4.4. CONTROL BIOLÓGICO**

Realizado el conteo de placas se obtuvieron las siguientes gráficas:



**Figura 41. Niveles de población de *Bemisia tabaci* en hoja alta.**



**Figura 42. Niveles de población de *Bemisia tabaci* en hoja media.**



**Figura 43. Niveles de población de *Bemisia tabaci* en hoja baja.**

Según los gráficos podemos ver como es en la hoja media donde el nivel de adultos es mayor llegando hasta 1.2 ind/m2. Las primeras sueltas se realizaron la semana 36, a principios del mes de septiembre con 3 individuos/m2 de *Eretmocerus mundus* y puede verse como el nivel de adultos comienza a descender y empieza a aumentar el nivel de larvas, ya que la hembra de la avispa se introduce en las larvas de *Bemisia tabaci* de la que emergerán larvas de la avispa que se alimentan de las larvas de la mosca blanca. Es en la hoja baja donde el nivel de pupas se dispara a las 2 semanas de la suelta.

En la semana 37, a la siguiente de la suelta de *Eretmocerus mundus* se realizó la suelta de Macrolophus caliginosus que necesita más tiempo para conseguir una buena población pero es mucho más voraz que *Eretmocerus m* de ahí que a pesar de haberse realizado ya la suelta la población de larvas siga subiendo necesita un periodo más largo, mientras sigue actuando *E.mundus.* La suelta se realizó a 0.5 individuos/m2.



**Figura 44. Niveles de población de *Bemisia tabaci* en los 3 niveles en planta**

En esta gráfica es una media de la evolución de la mosca blanca en planta a los tres niveles, y como era de esperar ocurre lo mismo, en la semana 36 hay un descenso y comienza a hacerse notar la población de larvas y pupas aumentando vertiginosamente y aumentando a su vez la población de adultos que nos están obligando a realizar tratamientos sucesivos con productos biológicos como jabón potásico o extracto de ajo que son repelentes no perjudiciales para la fauna auxiliar y pueden ayudar a disminuir el nivel de adultos.

Si observamos la evolución por sectores en los que está dividido el invernadero vemos lo siguiente:



**Figura 45. Niveles de poblaciones de *Bemisia tabaci* en el sector 1.**

En el sector 1 correspondiente a la entrada del invernadero se observa un nivel de individuos mucho más bajo, esto es debido principalmente a que la entrada de insectos se produce a través de los ventiladores que introducen el aire del exterior, que durante este cultivo se encuentran en la cara Sur, debido a que la malla que los protege no es lo suficientemente tupida como para evitar el paso de estos. Aunque es común que exista entrada de insectos por la puerta el hecho de contar con una antesala de malla antitrips hace que se reduzca al mínimo la entrada por la puerta del invernadero.

Lo mismo ocurre en el sector 4 que también se encuentra a la entrada del invernadero lado izquierdo.



**Figura 46. Niveles de poblaciones de *Bemisia tabaci* en el sector 4.**

El nivel es mínimo, casi inapreciable y la pequeña población que había se está erradicando a gracias a las sueltas realizadas a partir de la semana 36.

Los problemas más graves los encontramos en los sectores 2 y 3 que se encuentran situados bajo los ventiladores de entrada de aire.



**Figura 47. Niveles de poblaciones de *Bemisia tabaci* en el sector 2.**



**Figura 48. Niveles de poblaciones de *Bemisia tabaci* en el sector 3.**

Se observa que es en el sector 2 donde es más elevado el nivel de mosca, esto está principalmente debido a que es el sector más cercano a invernaderos vecinos que ya estaban infectados, lo que implica que mientras estén funcionando los ventiladores están introduciendo aire procedente de ese lado. Los niveles llegan a casi 3 individuos por hoja, siendo niveles altos para llevar un control biológico adecuadamente, por lo que tendremos que seguir realizando sueltas a mayor dosis y realizar tratamientos más frecuente.

**4.5. TASA DE VENTILACIÓN**

Se realizaron medidas de la tasa de ventilación mediante la Técnica del Gas Trazador anteriormente descrita mediante el método del decaimiento.

Mediante una botella de gas CO2 puro se aportó gas al interior del invernadero. En ese momento, los ventiladores se encontraban desconectados.

El gas CO2 es un gas que interacciona con el cultivo ya que este interviene en el proceso de fotosíntesis de las plantas. Hubiera sido posible estimar la cantidad de CO2 que fijaban las plantas mediante la estimación del índice de área foliar y la tasa de asimilación fotosintética, pero este último va a tener una gran dependencia de las condiciones ambientales que rodean la planta y estas cambian de forma permanente. Por ello, hemos optado por realizar la técnica aportando elevadas cantidades de CO2 hasta niveles por encima de 1000 ppm. Con ello, acotamos bastante el error que se puede tener al utilizar esta técnica en presencia de cultivo.

En un primer ensayo, se tenía un cultivo de tomate pequeño. Se inyectó una cantidad de gas hasta conseguir una concentración uniforme de 1300 ppm aproximadamente. A partir de ese momento se conectan los ventiladores y se mide el decaimiento del gas en función del tiempo



**Figura 49: Cálculo de tasa de renovación de aire del invernadero en presencia de un cultivo pequeño.**

La tasa de renovación de aire obtenida es de 20,16 renovaciones / hora. Esta tasa de renovación está por debajo de la recomendada estimada en 30 renovaciones / hora.

En consecuencia y en visto de las temperaturas obtenidas, sería recomendable conseguir una tasa de renovación más alta mediante la colocación de un número mayor de ventiladores y extractores.

Se realizó la misma técnica para la presencia de un cultivo de tomates con una altura de 1,70 cm para el cálculo de la tasa de renovación.



**Figura 50: Cálculo de tasa de renovación de aire del invernadero en presencia de un cultivo grande.**

La tasa de renovación obtenida es de 21,96 renovaciones / hora. Este valor está también por debajo del recomendado estimado en 30 renovaciones / hora.

Estos resultados muestran que, en nuestras condiciones de ensayo, no existen diferencias entre la presencia de un cultivo grande y otro pequeño. Los valores de 20,16 y 21,96 renovaciones/hora se pueden considerar iguales.

Aunque está demostrado que la presencia de cultivo reduce la ventilación, en nuestro caso no se produce debido probablemente a que los aparatos de ventilación se encuentran muy altos con respecto al cultivo. Sería recomendable realizar la misma técnica cuando el cultivo se encontrase a una altura mayor, cercana a la de los ventiladores y evaluar cuanto se reduce esta tasa de ventilación.