

ESTUDIO DEL MICROCLIMA EN DOS SUBTIPOS DE INVERNADEROS ALMERÍA*

MICROCLIMATIC STUDY IN TWO SUBTYPES OF THE ALMERÍA GREENHOUSE

Marco Antonio Arellano García^{1§}, Diego L. Valera Martínez², Miguel Urrestarazu Gavilán², Sergio García Garza¹, Alfredo Sánchez Salas¹ y Jesús Soria-Ruiz³

¹Campo Experimental Saltillo, INIFAP. Blvd. Vito Alessio Robles Núm. 2565. Apartado Postal 150. 25100 Saltillo, Coahuila, México. ²Universidad de Almería, España.

³Campo Experimental Valle de Toluca, INIFAP. §Autor para correspondencia: arellano.marco@inifap.gob.mx

RESUMEN

Actualmente los invernaderos tipo Almería, deberán tener un mayor control de su microclima para satisfacer las demandas de calidad impuestas por los mercados. Sin embargo, antes de la introducción de tecnologías tendientes a su mejora, será necesario conocer las variaciones microclimáticas en el interior del invernadero para lograr un control racional de los factores que afectan la calidad del fruto. El objetivo fue evaluar el microclima del invernadero para determinar las variaciones en su interior y con base en estas, ayudar en el diseño y ubicación de equipos de control climático. La investigación se realizó durante los años 2001 a 2003, en dos subtipos del invernadero Almería: “Raspa y Amagado” y “Asimétrico”, en el sur de España. Para su evaluación se seleccionaron tres sectores del invernadero: 1) Norte, 2) Centro y 3) Sur. Se instalaron sensores de temperatura, humedad relativa y el déficit de presión de vapor. El análisis estadístico se llevó a cabo, por hora, semana, mes, período de estudio y tratamiento. Los resultados mostraron que la estrategia de control del microclima en el Raspa y Amagado deberá enfocarse a incrementar la temperatura en el sector norte en la temporada invernal y a disminuir la carga energética del sector sur en primavera-verano. Para el Asimétrico se encontró un microclima homogéneo en la temporada de primavera-verano y en invierno solo será necesario hacer modificaciones en el sector norte de la estructura. En este caso, la estrategia de control del

microclima podría centrarse principalmente en un diseño eficiente de la ventilación natural.

Palabras clave: Déficit de presión de vapor, temperatura, ventilación natural.

ABSTRACT

Currently the greenhouses of the Almería type must have a better control of their microclimate to satisfy the demands of produce quality imposed by the consumers. Nevertheless, before the introduction of better climate control technologies, it will be necessary to determine the microclimatic variations that occur inside of the greenhouse to obtain a rational control of the factors that affect the quality of the fruit. The objective was to evaluate the microclimate inside the greenhouse to define the variations in its interior and with base in these, implement the design and location of climate control technologies. The investigation was carried out from 2001 to 2003 in two subtypes of the Almería greenhouse: “Raspa y Amagado” and “Asymmetric”, in the southern region of Spain. For their evaluation three sectors of the greenhouse were selected: 1) North, 2) Center and 3) South. Sensors of temperature, relative humidity and deficit vapor pressure were installed. The statistical analysis were carried out, by the hour, weekly, monthly, and the whole period of the study. The results indicated that the microclimate control strategy

* Recibido: Octubre de 2005

Aceptado: Julio de 2006

in the Raspa y Amagado type have to focus on the increase of temperature in the North sector during the winter season and, to diminish the energy load in the South sector during the spring-summer season. As for the Asymmetric type, a homogenous microclimate was found during the spring-summer season and, during the winter it will be necessary to implement modifications in the North sector of the structure. In this case, the control strategy should be centered in an improved design of the natural ventilation.

Keywords: Natural ventilation, temperature, vapor pressure deficit.

INTRODUCCIÓN

Los invernaderos tipo Parral, característicos de la región sureste de España, se desarrollaron a partir de las estructuras de soporte para el cultivo de la uva de mesa. En un principio estas estructuras eran planas y utilizaban plástico perforado que permitía desalojar el agua de lluvia de la cubierta. Estos invernaderos se denominaron Parral Plano. Posteriormente se le dio una pequeña inclinación a la cubierta con el objeto de evacuar el agua de lluvia y evitar así el mojado de las plantas. Surgieron así dos subtipos de invernaderos: uno en el que la cubierta adopta una inclinación simétrica conocido como "Raspa y Amagado" y posteriormente surge el otro subtipo con una cubierta "Asimétrica" la cual permite un mayor aprovechamiento de la radiación solar.

El invernadero tipo Almería Parral Plano está compuesto por dos elementos básicos: una estructura vertical y otra horizontal. La estructura vertical está constituida por soportes rígidos que se diferencian en perimetrales (situados en las bandas y esquineros) y en interiores (pies derechos). Los soportes perimetrales tienen una inclinación hacia el exterior de 30° con respecto a la vertical y sirven para tensar las cordadas del alambre de la cubierta. Los invernaderos tradicionales estaban constituidos por palos de madera, pero debido a su reducida vida útil, ahora se han sustituido por soportes metálicos. La estructura horizontal flexible está constituida por dos mallas de alambre galvanizado superpuestas, tejidas manualmente de forma simultánea a la construcción del invernadero. Estas dos mallas, además de formar parte de la estructura del invernadero, sirven para sujetar y sostener la lámina de plástico.

La principal diferencia entre el invernadero Parral Plano y el subtipo Raspa y Amagado, es la inclinación de la cubierta

(entre 6° y 10°) presente en este último, con el objeto de evacuar el agua de lluvia. La altura de este invernadero en la cumbre oscila entre 3 y 4.2 m, formando lo que se conoce como "raspa"; en la parte más baja, conocida como "amagado", se unen las mallas de la cubierta al suelo mediante cables y horquillas de hierro. El invernadero del subtipo Asimétrico difiere del anterior en que las vertientes de la cubierta tienen distinto ángulo de inclinación, con el objeto de mejorar la distribución de la energía solar, en las distintas temporadas de cultivo. Para ello, el invernadero se debe orientar en el sentido este-oeste, paralelo al recorrido aparente del sol. Este invernadero ha mostrado ser el más rentable bajo las condiciones climáticas del sureste de España (Valera *et al.*, 1999).

Los principales métodos de control climático empleados en los invernaderos Almería se caracterizan por la utilización de la ventilación natural y el blanqueo de la cubierta, para disminuir las elevadas temperaturas, que llegan a superar los 35 °C. El valor óptimo del área de ventilación, para disminuir las anteriores temperaturas, es del 18 al 25% de la superficie del suelo cubierta por el invernadero (Zabelitz, 2002). En Holanda e Italia se han realizado estudios, en forma detallada, para evaluar el microclima en el interior del invernadero. Sin embargo, las condiciones climáticas y el tipo de invernaderos son muy diferentes (Tesi, 2001). En la región sureste de España, estos estudios han sido mínimos, dado su escaso control climático (Castilla, 1991; López y López, 1991; Salas, 2000). Aunque se aprecian sus variaciones microclimáticas, aun no han sido cuantificadas, prevaleciendo criterios de escaso soporte científico para la toma de decisiones en cuanto a la instalación de nuevos equipos dirigidos a mejorar el microclima.

El objetivo de esta investigación fue evaluar los parámetros microclimáticos del invernadero Almería, en las temporadas de otoño-invierno y primavera-verano, y definir con detalle las zonas problemáticas de este tipo de invernaderos.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en el municipio de El Ejido, provincia de Almería, España (36°46'LN, 2°48'LO y altitud de 20 msnm), para dos invernaderos Almería del subtipo: 1) Raspa y Amagado con los cultivos de pimiento y melón, y 2) Asimétrico con el cultivo de tomate.

Características de los invernaderos

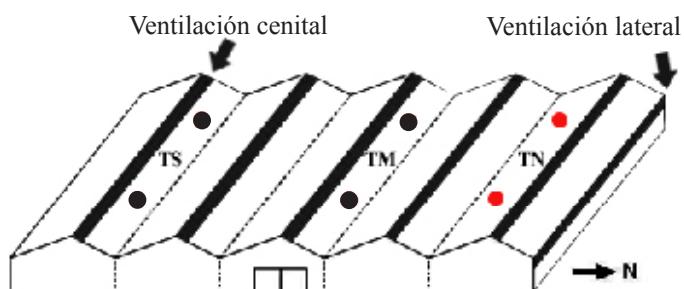
Invernadero subtipo Raspa y Amagado. La cubierta plástica fue de polietileno transparente de 200 micras de espesor, formada por varias capas de plástico, con carácter termo aislante, con un año de antigüedad y con orientación este-oeste. La altura fue de 3.95 m en la cumbre y 3.5 m en el amagado; con una longitud de 120 y 100 m de ancho, para una superficie total de 12 000 m². El invernadero incluyó un sistema de ventilación manual, formado por ventanas laterales (440 m de longitud y 1.0 m de ancho) y ventanas cenitales (90 m de longitud y 0.6 m de ancho). Las dimensiones anteriores representaron superficies de ventilación cenital de 2.25% y lateral de 3.6%.

Invernadero subtipo Asimétrico. El invernadero fue del tipo comercial y su cubierta plástica de polietileno transparente de 200 micras de espesor, formada por varias capas de plástico, con carácter termo aislante, con un año de antigüedad. La altura fue de 4.05 m en la cumbre y 3.0 m en el amagado, con una superficie de 10 800 m², compuesta por 180 m de longitud y 60 m de ancho en cada uno de sus lados. La superficie de ventilación cenital fue de 8.4% y la lateral de 7.1%, con una orientación este-oeste.

En ambos casos, los sistemas de ventilación permanecieron abiertos en todas las temporadas de cultivo. En primavera, las ventanas se abrieron paulatinamente hasta alcanzar 100% de su longitud y en invierno estuvieron abiertas sólo 40% de su longitud. En casos excepcionales estuvieron abiertas 10% de su longitud y esto ocurrió cuando la temperatura exterior fue inferior a 10 °C. Este manejo estuvo de acuerdo con las prácticas comerciales de la región. Una malla anti-insectos (50-mesh) cubrió las entradas de ventilación para evitar el acceso de insectos a los invernaderos. La cubierta de los invernaderos fue blanqueada en las temporadas de primavera-verano [30 kg de carbonato de calcio (CaCO₃) en 100 litros de agua]. Esta práctica se realizó principalmente para evitar daños al fruto, provocados por su exposición a la radiación solar directa.

Evaluación microclimática

Para llevar a cabo la evaluación microclimática de los invernaderos se seleccionaron tres sectores en su interior, resultando así los siguientes tratamientos: sector norte (TN), sector centro (TM) y sector sur (TS). En cada uno de los tratamientos se colocaron dos sensores (dos repeticiones) para medir las variables climáticas de temperatura y humedad relativa (Figura 1).



● Ubicación sensores temperatura y humedad relativa del aire

TS= Sector sur; TM= Sector centro; TN= Sector norte.

Figura 1. Representación esquemática de la localización y distribución de los sensores en el interior del invernadero.

Los equipos utilizado para el registro de los datos fueron los data loggers conocidos en el mercado como HOBO Pro RH/Temp con un rango de operación, para la variable temperatura, de -30 °C a 50 °C, y una precisión de 0.2 °C e intervalos de humedad relativa de 0 a 100%, con una precisión del 3%. Estos data loggers estiman el valor de la humedad absoluta, asumiendo una presión atmosférica de 1 atmósfera, condición que se cumple en localidades que se encuentran al nivel del mar. Los sensores fueron protegidos de la radiación solar por medio de una caja de madera de 20 cm de largo, 14 cm de ancho y 14 cm de alto; con una prolongación en sus lados de 6 cm de largo y 35° de pendiente. Estas cajas permitieron el movimiento libre del aire en su interior y fueron pintadas con pintura acrílica blanca para evitar la elevación de la temperatura. También se midieron la velocidad y dirección del viento por medio de un anemómetro del tipo industrial con una precisión del 5% y una veleta con precisión de 7° (en el exterior del invernadero). Se estimó el déficit de presión de vapor (DPV), por medio de la siguiente ecuación (Rosenberg *et al.*, 1983):

$$DPV = 0.61078 \exp\left(\frac{17.269 \cdot T_a}{T_a + 237.3}\right) \cdot \left(1 - \frac{HR}{100}\right)$$

donde:

DPV = Déficit de presión de vapor (kPa)

T_a = Temperatura del aire (°C)

HR = Humedad relativa (%)

La investigación se llevó a cabo en plantaciones de los cultivos más importantes en la región (Cuadro 1) como son el pimiento, melón y tomate; en las temporadas de invierno (I-2001), primavera (P-2002), otoño-invierno (O-I 2002) y primavera-verano (P-V 2003).

Cuadro 1. Subtipos de invernaderos, altura del sensor, temporada de cultivo, cultivo y fecha de evaluación.

| Subtipo de invernadero | Altura del sensor (m) | Temporada de cultivo | Cultivo | Fecha de evaluación |
|------------------------|---|-------------------------|----------|-----------------------------------|
| Raspa y Amagado | 1.5 m a partir de la base de la planta | Invierno (2001) | Pimiento | Del 19 al 31 de diciembre de 2001 |
| Raspa y Amagado | 0.3 m a partir de la base de la planta | Primavera (2002) | Melón | Febrero a abril de 2002 |
| Asimétrico | 0.15 m de la altura máxima de la planta | Otoño-invierno (2002) | Tomate | Octubre a diciembre de 2002 |
| Asimétrico | 0.15 m de la altura máxima de la planta | Primavera-verano (2003) | Tomate | Marzo a junio de 2003 |

Análisis estadístico de los datos

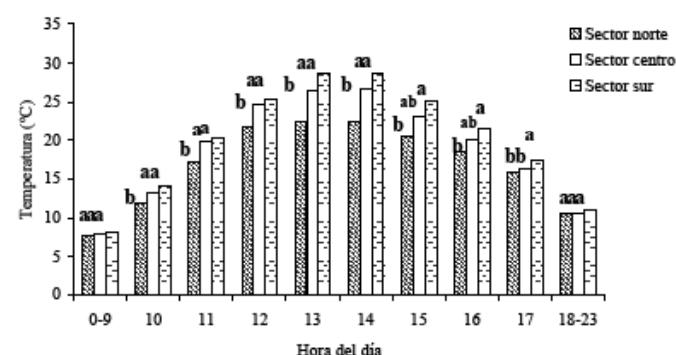
La medición de las variables climáticas se programó para registrarse cada 10 min, las 24 horas del día y durante el período de evaluación. Para su análisis, primero se promediaron los datos registrados cada 10 min, en las dos repeticiones de cada sector. Posteriormente se promediaron cada hora por sector. Una vez promediados los datos por hora, sector y día, se procedió a promediar los datos por hora y por semana; el mismo procedimiento se siguió para promediar por hora, por mes y por el período de evaluación correspondiente a cada temporada. Una vez dispuestos los datos de la anterior forma, se efectuaron pruebas de t-student por hora y por sector del invernadero, para los datos promediados por semana, mes y por el promedio del período de evaluación. Este procedimiento se utilizó para determinar si existían diferencias estadísticas entre sectores. La comparación de medias se realizó con la prueba de diferencia mínima significativa (Snedecor y Cochran, 1984).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Invernadero subtipo Raspa y Amagado con cultivo de pimiento en invierno de 2001

Los resultados encontrados para la variable temperatura, indican que existen diferencias significativas ($p<0.05$) entre sectores estudiados. Estas diferencias iniciaron a las 10:00 h y terminaron a las 17:00 h (Figura 2). El sector norte (TN) del invernadero es el que causa estas diferencias con un diferencial de 3.1 °C con respecto al sector sur (TS). El salto térmico (temperatura interior menos la temperatura

exterior del invernadero) referido a las horas centrales del día, es mayor en el TS (10 °C), con respecto al TN (5 °C).



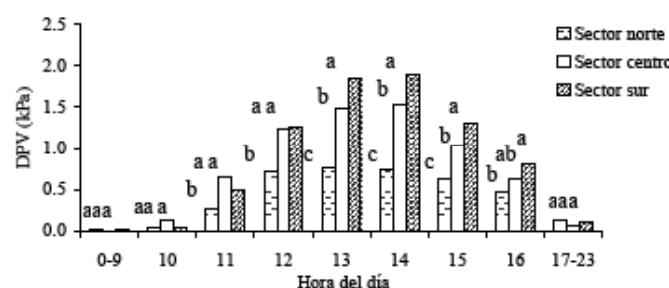
Letras diferentes indican diferencias significativas ($p<0.05$).

Figura 2. Temperatura media del período de estudio para el invernadero subtipo Raspa y Amagado con cultivo de pimiento en temporada de invierno 2001.

Aunque no se midió la radiación incidente, se estima que esta variación entre sectores coincide teóricamente con la cantidad de radiación solar captada en cada uno de ellos (Muñoz *et al.*, 1999; Maroto, 2000; Tesi, 2001) y, como lo señalan varios autores que han estudiado este tipo de invernaderos: "la vertiente sur del invernadero recibe 70% de radiación exterior, mientras que la vertiente norte sólo 50%" (López-Gálvez, 1990; López-Hernández, 1990). Otra teoría que respalda la anterior estimación es sobre el grado de inclinación de los rayos solares, el cual es mayor en la temporada de invierno (Bot, 1983).

El déficit de presión de vapor (DPV) representa la demanda evaporativa de la atmósfera circundante y, por lo tanto, es

un indicador de primer orden en la respuesta de la planta al ambiente (Pérez-Parra *et al.*, 2001). Los resultados encontrados para el DPV, indican que el TN obtiene los menores valores de DPV (Figura 3). Este menor valor coincide con una menor temperatura en este sector. Sin embargo, las pequeñas diferencias en la temperatura del invernadero causan 70% de diferencias en el DPV, en las horas centrales del día. Teóricamente, esto ocasionará diferencias en la precocidad del fruto entre sectores, tal como lo afirma López-Gálvez (1990), al mencionar que las variaciones de radiación solar incidente, sobre el cultivo de frijol, produjeron zonas de precocidad variable en el eje norte-sur del invernadero.



Letras diferentes indican diferencias significativas ($p<0.05$).

Figura 3. Difícil de presión de vapor (DPV) promedio del período de estudio, invernadero subtipo Raspa y Amagado con cultivo de pimiento en temporada de invierno 2001.

Los resultados para la variable humedad absoluta (Figura 4), muestran que fue mayor en el TS y menor en el TN. Esta variación refuerza la teoría de que una mayor acumulación

de energía en el TS actuará sobre la evapotranspiración del cultivo y como consecuencia se tendrá un mayor índice de humedad absoluta en este sector. Se descarta que las bajas velocidades del viento y la reducida área efectiva de ventilación no sean suficientes para evacuar la humedad absoluta excesiva del interior del invernadero.

Invernadero subtipo Raspa y Amagado con cultivo de melón en primavera de 2002

Los resultados encontrados para la variable temperatura, indican que hubo diferencias significativas ($p<0.05$) entre tratamientos (Figura 5). Estas diferencias iniciaron a las 11:00 h y terminaron a las 19:00 h. El sector que causó estas diferencias fue el TN con un diferencial de 2.4 °C con respecto al TS. El salto térmico se mantuvo mayor en el TS, con respecto al TN, y presenta un diferencial de 5 °C en las horas centrales del día, en todos y cada uno de los meses en estudio. Este cultivo es considerado muy exigente en temperatura en sus primeras etapas de desarrollo, por lo cual, la ventilación natural se redujo a tan solo 20% de su capacidad para lograr altas temperaturas. De esta forma se obtienen mayores saltos térmicos en las horas centrales del día. La disminución gradual registrada en esta variable fue debido al manejo realizado al sistema de ventilación natural en el cual se abrieron paulatinamente las ventanas para tratar de bajar la temperatura a intervalos óptimos para la floración (20 a 23 °C) y fructificación (25 a 30 °C). Se destaca que el diferencial de temperaturas del TS, con respecto al TN, disminuyó alrededor del 50% al aplicar el blanqueo del invernadero en la cuarta semana del mes de abril, coincidiendo en este punto con los resultados encontrados por Baille y Leonardi (2001) y Baille *et al.* (2001).

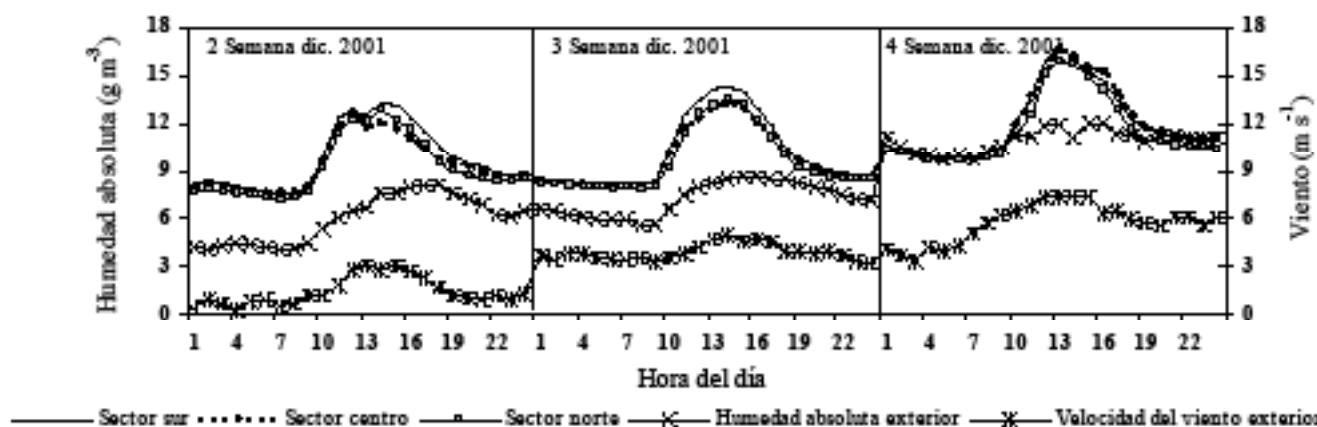
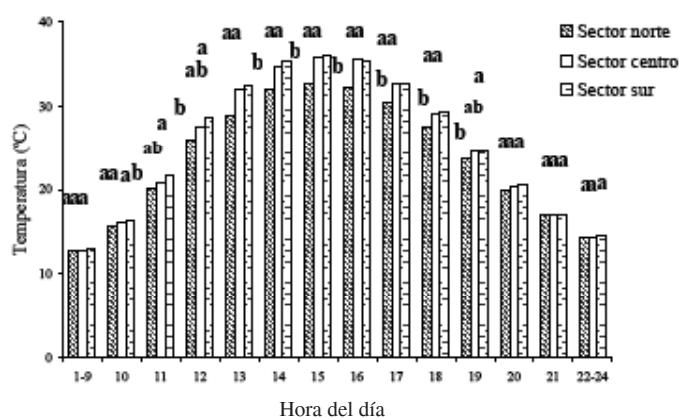


Figura 4. Promedio semanal y por hora de la humedad absoluta alcanzada en cada uno de los sectores en estudio en un invernadero subtipo Raspa y Amagado con cultivo de pimiento en temporada de invierno 2001.

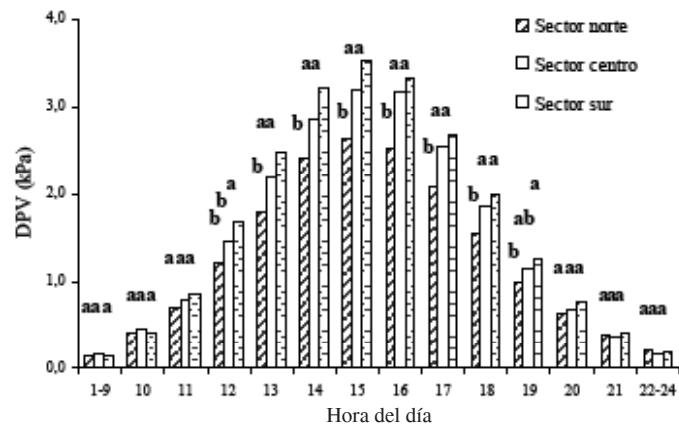


Letras diferentes indican diferencias significativas ($p<0.05$).

Figura 5. Temperatura media en el invernadero subtipo Raspa y Amagado con el cultivo de melón en temporada de primavera de 2002.

El sector norte obtuvo los menores valores de DPV (Figura 6). Estas tendencias se mantuvieron dentro del período de estudio, a excepción de la primera semana de febrero en donde el cultivo se encontró dentro de las primeras etapas de desarrollo. Después del blanqueo, el microclima fue más homogéneo siendo mínimas las diferencias en el interior del invernadero para esta variable en la última semana del mes de abril.

Los mayores valores de humedad absoluta (Figura 7) se presentaron en el TM y los menores valores fluctuaron según el manejo realizado al sistema de ventilación natural mencionado anteriormente. En la cuarta semana del mes de abril se blanqueó, es importante destacar que esta práctica



Letras diferentes indican diferencias significativas ($p<0.05$).

Figura 6. Déficit de presión de vapor (DPV) promedio del período de estudio en un invernadero subtipo Raspa y Amagado con cultivo de melón en temporada de primavera 2002.

reduce los valores de la humedad absoluta del aire a sus niveles iniciales (10 a 15 g m^{-3}). Lo anterior, refuerza la teoría de que la principal fuente de humedad absoluta en el interior del invernadero es la evapotranspiración del cultivo. Si esta teoría es verdadera, entonces, la evapotranspiración presentaría una relación inversamente proporcional con la radiación solar incidente en el interior de estas estructuras hasta un cierto límite.

Invernadero subtipo Asimétrico con cultivo de tomate en otoño-invierno de 2002

Los resultados indican que con respecto a la variable temperatura se encontraron diferencias significativas

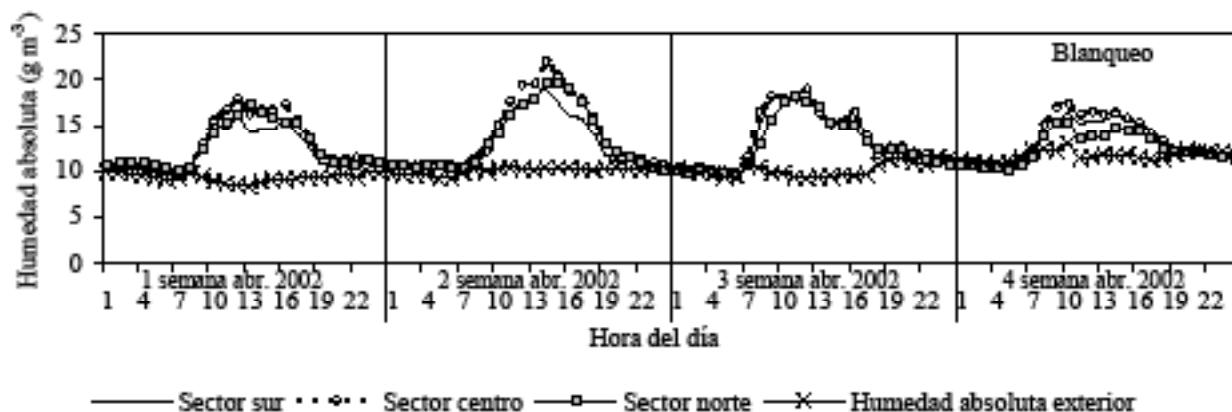
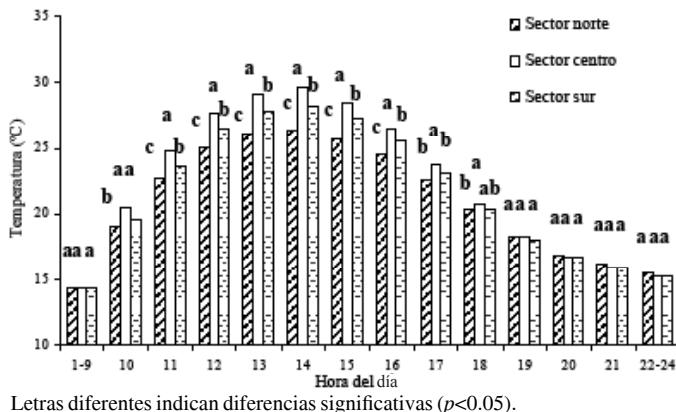


Figura 7. Promedio semanal y por hora de la humedad absoluta en el invernadero subtipo Raspa y Amagado con el cultivo de melón en temporada de primavera 2002.

($p<0.05$) entre tratamientos (Figura 8). Estas diferencias iniciaron a las 10:00 h y terminaron a las 18:00 h. El sector que causó estas diferencias fue el TN con un diferencial de 2.0 °C con respecto al TM. Es importante destacar que en esta estructura de invernadero, la máxima temperatura se encuentra localizada en el TM.



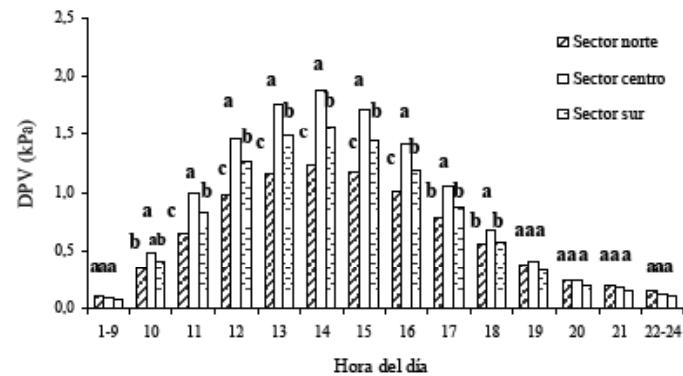
Letras diferentes indican diferencias significativas ($p<0.05$).

Figura 8. Temperatura media en un invernadero subtipo Asimétrico con cultivo de tomate en temporada otoño-invierno 2002.

El sector norte se mantuvo como el más fresco en este tipo de estructura con un salto térmico de 4 °C en las horas centrales del día, en todos los meses en estudio. En el O-I, la ventilación se redujo paulatinamente a medida que los días fueron más fríos, hasta cerrar las ventanas laterales en 80% de su abertura. Las ventanas cenitales permanecieron abiertas al 100% de su abertura durante la temporada de cultivo. En esta temporada, la inclinación de los rayos solares fue mayor a medida que se acercó el equinoccio de invierno. Teóricamente, esta inclinación es la causa principal de las diferencias encontradas entre los sectores. Este subtipo de invernadero fue diseñado para captar un mayor porcentaje de la radiación, aspecto que sólo se cumplió para el TM del invernadero, en donde se tuvo una mayor inclinación de la cubierta (ángulo de 45°), la cual permitió una mayor captación de radiación solar en este sector, al reflejar un mínimo los rayos del sol. El TS presentó una inclinación menor (ángulo de 25°), lo cual permitió un mayor reflejo de los rayos solares y, por lo tanto, una menor carga energética. El TN, localizado físicamente después del TS y TM del invernadero, captó menos energía por efecto del sombreado y ángulo de incidencia.

Los resultados encontrados para el DPV, indican que el TN obtiene los menores valores (Figura 9), con diferencias estadísticas en las horas centrales del día ($p<0.05$). Estas

tendencias se mantuvieron al expresar los datos registrados por semana y por mes a través del período de estudio.



Letras diferentes indican diferencias significativas ($p<0.05$).

Figura 9. Déficit de presión de vapor (DPV) promedio en un invernadero subtipo Asimétrico con cultivo de tomate en temporada otoño-invierno 2002.

En general, los mayores niveles de humedad absoluta (Figura 10) se midieron en el sector centro. Existió una clara disminución en el contenido de humedad absoluta del aire, a medida que se adentró en el invierno (en el mes de diciembre) hasta alcanzar un intervalo de valores de 8 a 16 g m⁻³, una disminución del 50% para el valor mínimo y del 25% para el valor máximo.

Invernadero subtipo Asimétrico con cultivo de tomate en primavera-verano de 2003

Con respecto a la variable temperatura, los resultados estadísticos indicaron que existió diferencias significativas ($p<0.05$) entre tratamientos (Figura 11). Estas diferencias iniciaron a las 11:00 h y terminaron a las 18:00 h. El sector que causó estas diferencias fue el centro con un diferencial de 0.7 °C (3%) con respecto al TN y TS. Para esta temporada y en este tipo, las temperaturas fueron muy homogéneas en todo el invernadero.

En general, el salto térmico registrado en las horas centrales del día presentó un diferencial de 2 °C entre el TN, TM y TS del invernadero. Debido a lo anterior, el microclima se presentó muy homogéneo. Sin embargo, el análisis semanal y mensual, presentó algunas desviaciones con respecto a su promedio general. Es decir, no mostró las mismas tendencias dentro del período de estudio. En el mes de abril (datos no presentados), el mayor salto térmico (obtenido al medio día) se registró en el TN y TS del invernadero (8 y 6 °C en promedio, respectivamente). En el mes de mayo, la situación

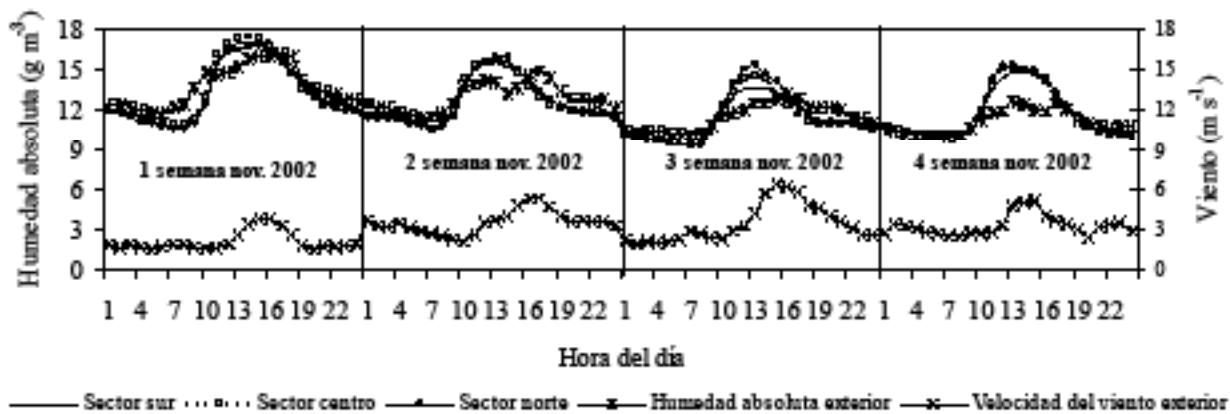


Figura 10. Promedio semanal y por hora de la humedad absoluta en un invernadero subtipo Asimétrico con cultivo de tomate en temporada otoño-invierno 2002.

cambió completamente al blanquear el invernadero. El salto térmico de TN y TS disminuyó hasta 3 °C en promedio del mes y también disminuyó el diferencial con respecto al centro del invernadero, siendo de 1 °C. Incluso en la segunda semana del mes de mayo el salto térmico fue negativo (Figura 12), es decir, se localizó por debajo de la temperatura exterior; lo anterior puso de manifiesto la gran efectividad del blanqueo para disminuir las altas temperaturas en el interior del invernadero.

Aunque las temperaturas se presentaron muy homogéneas, los resultados indicaron que el TM obtuvo los menores valores de DPV (Figura 13), con diferencias estadísticas significativas ($p<0.05$). Estas tendencias se mantuvieron dentro del período de estudio.

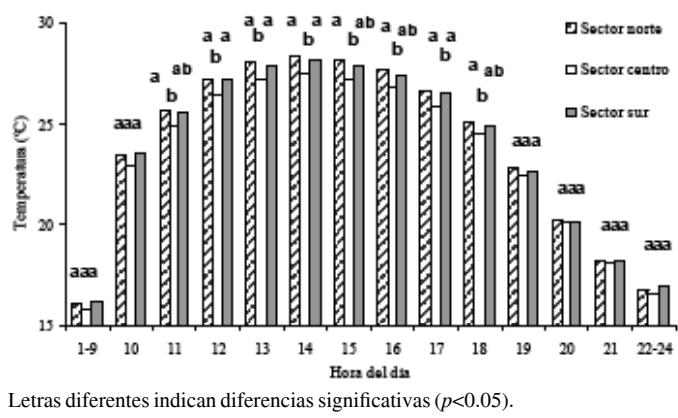


Figura 11. Temperatura media en un invernadero subtipo Asimétrico con cultivo de tomate en temporada primavera-verano 2003.

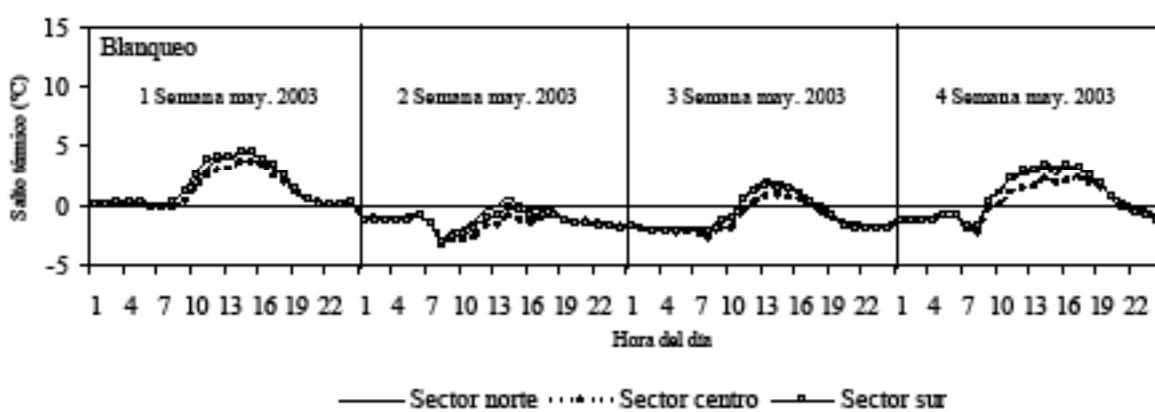
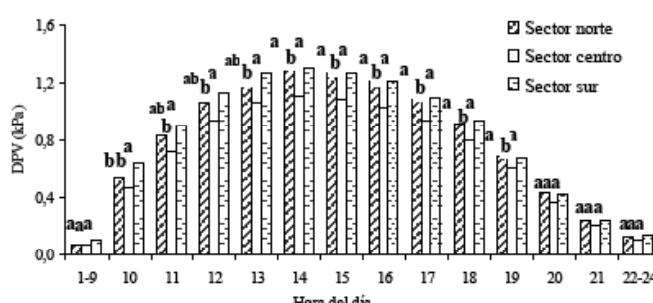


Figura 12. Salto térmico alcanzado en el mes de mayo en un invernadero subtipo Asimétrico con cultivo de tomate en temporada primavera-verano 2003.



Letras diferentes indican diferencias significativas ($p<0,05$).

Figura 13. Déficit de presión de vapor (DPV) promedio en un invernadero subtipo Asimétrico con cultivo de tomate en temporada primavera-verano 2003.

En general, los valores de humedad absoluta fueron muy homogéneos en los tres sectores estudiados, el mismo resultado se encontró al analizar las tendencias semanales y por hora (Figura 14).

En teoría, el subtipo Asimétrico fue diseñado para captar una mayor radiación solar en la temporada invernal y reflejar una gran parte de ésta en la temporada de verano. Lo anterior compensaría las variaciones energéticas en el interior del invernadero. Los resultados mostrados en esta investigación señalan que sólo la parte de la cubierta, en donde se tiene la mayor inclinación de la cumbre, cumplió en la temporada invernal con la parte teórica para la cual fue diseñado. Sin embargo, en la temporada de verano, sí cubrió las expectativas de su diseño al reducir, entre los diferentes sectores, el diferencial de temperaturas y del DPV, en 2 °C y 0.2 kPa respectivamente, logrando un microclima más uniforme en el interior del invernadero.

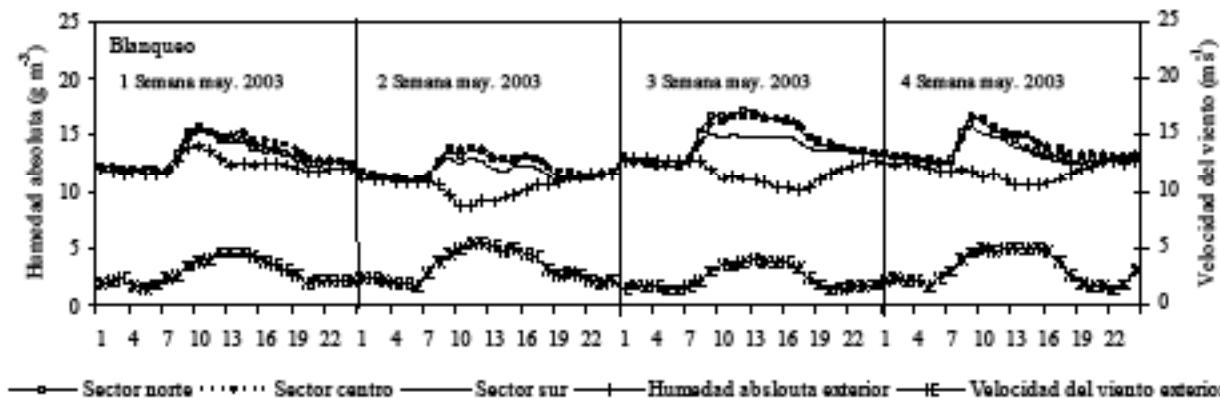


Figura 14. Promedio semanal y por hora de la humedad absoluta en un invernadero subtipo Asimétrico con cultivo de tomate en temporada primavera-verano 2003.

CONCLUSIONES

La estrategia básica de control del microclima en el invernadero subtipo Raspa y Amagado deberá estar enfocada a incrementar la temperatura en el sector norte en la temporada invernal y a disminuir la carga energética del sector sur en primavera-verano. Una forma económica de disminuir la carga energética es incrementando el volumen de riego en este sector, el cual, además de satisfacer una mayor demanda de agua, aumentará los niveles de humedad relativa y en consecuencia mejorará el microclima de este sector.

El diseño de la geometría de la cubierta, en el caso del subtipo Asimétrico, homogeniza el microclima en la temporada de primavera-verano y en invierno solo será necesario actuar sobre el sector norte de esta estructura. En este caso, la estrategia básica de control del microclima se centrará principalmente en un diseño eficiente de la ventilación natural.

La estructura de invernadero deberá considerar el diseño asimétrico de la cubierta y someter a experimentación diferentes propuestas de su inclinación para determinar la combinación adecuada que homogenice el microclima en el interior en todas las temporadas de cultivo.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y a la Universidad de Almería por su apoyo en la realización del presente trabajo de investigación.

LITERATURA CITADA

- Baille, A. and Leonardi, Ch. 2001. Influence of misting on temperature and heat storage of greenhouse grown tomato fruits during summer conditions. *Acta Hortic.* 559:271-278.
- Baille, A.; Kittas, C. and Katsoulas, N. 2001. Influence of whitening on greenhouse microclimate and crop energy partitioning. *Agric. For. Meteorol.* 107:293-306.
- Bot, G. P. A. 1983. Greenhouse climate: from physical processes to a dynamic model. Ph. D. Dissertation. Agricultural University of Wageningen, The Netherlands. 240 p.
- Castilla, N. 1991. Mejora del control medioambiental del invernadero "Almería": Análisis de distintas geometrías de cubierta. *In:* López, G. J. (ed.) *Curso Internacional sobre "Agrotecnia del Cultivo en Invernaderos", 2a. Sesión.* Fundación para la Investigación Agraria en la Provincia de Almería (FIAPA). España. 440 p.
- López-Gálvez, J. 1990. Productividad de la judía verde sobre enarenado bajo invernadero en Almería. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid. Fundación para la Investigación Agraria en la Provincia de Almería (FIAPA). Madrid, España. 225 p. (Estudios y Planificación, serie Tesis Doctorales).
- López, G. J. y López H., J. C. 1991. El invernadero tipo "Almería". Clima que se genera en el interior de los invernaderos. *In:* López, G. J. (ed.), *Curso Internacional sobre "Agrotecnia del Cultivo en Invernaderos", 2a. Sesión.* Fundación para la Investigación Agraria en la Provincia de Almería (FIAPA). España. 440 p.
- López-Hernández, J. C. 1990. Parámetros a estudiar para el diseño de estructuras de invernaderos. Consejería de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. Madrid, España. 50 p. (Colección: Congresos y Jornadas Vol. 18).
- Maroto B., J. V. 2000. Elementos de horticultura general. Mundi-Prensa. Madrid, España. 424 p.
- Muñoz, P.; Montero, J. I.; Antón, A. and Giuffrida, F. 1999. Effect of insect-proof screens and roof openings on greenhouse ventilation. *J. Agric. Eng. Res.* 73(2):171-178.
- Pérez-Parra, J.; Montero, J. I.; Baeza, E. y Antón, A. 2001. Ventilación y refrigeración de invernaderos. *In:* López, J. C.; Lorenzo, P.; Castilla, N.; Pérez-Parra, J.; Montero, J. I.; Baeza, E.; Antón, A.; Fernández, M. D.; Baille, A. y González-Real, M. 2001. Incorporación de tecnología al invernadero mediterráneo. Caja Rural de Almería y Málaga (CAJAMAR). Almería, España. p. 49-58.
- Rosenberg, N. J.; Blad, B. L. and Verma, S. B. 1983. Microclimate: The biological environment. 2nd. ed. John Wiley and Sons. USA. 495 p.
- Salas, M. C. 2000. Modelo de fertirrigación en cultivo sin suelo para tomate en invernadero. Tesis Doctoral. Universidad de Almería. Escuela Politécnica Superior. Almería, España.
- Salas, M. C. y Urrestarazu, G. M. 2001. Técnicas de fertirrigación en cultivo sin suelo. Universidad de Almería. Almería, España. 279 p.
- Snedecor, G. W. and Cochran, W. G. 1984. Métodos Estadísticos. 10a. ed. C.E.C.S.A. México. 703 p.
- Tesi, R. 2001. Medios de protección para la hortofloro-fruticultura y el viverismo. Mundi-Prensa, Madrid, España. 288 p.
- Valera, D. L.; Molina, F. y Gil, J. 1999. Los Invernaderos de Almería: Tipología y mecanización del clima. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Almería. Almería, España. 268 p.
- Zabelitz, C. V. 2002. Greenhouse structures. *In:* Stanchill, G. and Enoch, H. Z. (coord.) *Ecosystems of the world 20: greenhouse ecosystems.* Chapter 2. Elsevier Sciences B. V. The Netherlands. 423 p.