

VENTILACIÓN NATURAL Y FORZADA DE INVERNADEROS TIPO ALMERÍA Y SU RELACIÓN CON EL RENDIMIENTO DE TOMATE

Natural and Forced Ventilation in Almeria-Type Greenhouse and its Relationship to Tomato Yield

Marco A. Arellano-García^{1‡}, Diego L. Valera-Martínez², Miguel Urrestarazu-Gavilán²,
Ma. del Rosario Quezada-Martín¹, Juan Murguía-López¹ y Alejandro Zermeño-González³

RESUMEN

El riesgo de transmisión de virus por insectos ha obligado a establecer mallas anti-áfidos en las entradas de la ventilación natural de los invernaderos. Sin embargo, esto ha provocado una disminución en la eficiencia del control de clima dentro del invernadero. La solución a esta disminución en la ventilación natural, fue la instalación de sistemas de ventilación forzada, para incrementar las renovaciones de aire o en su defecto igualarla a la condición anterior (sin mallas anti-áfidos). En este trabajo de investigación se compararon los sistemas de ventilación natural con los sistemas de ventilación forzada diseñados a 15 y 30 renovaciones de aire por hora. Los resultados indicaron que las renovaciones de aire estudiadas en los sistemas de ventilación forzada, no tuvieron cambios significativos en el control del microclima del interior del invernadero. El rendimiento de fruto no fue afectado por el sistema de ventilación forzada. Con base en los resultados obtenidos, es posible afirmar que el sistema de ventilación forzada con índices de diseño de 15 y 30 renovaciones de aire por hora tiene el mismo efecto que el sistema de ventilación natural en el rendimiento de tomate.

Palabras clave: *temperatura, humedad relativa, humedad absoluta, DPV, Solanum lycopersicon.*

SUMMARY

The virus transmission risk caused by insects, has forced to establish anti-aphids mesh in the entrances of

the natural ventilation greenhouses. Nevertheless, this has brought a problem in the reduction of the efficiency of the greenhouse climate control. The Almeria greenhouses natural ventilation is one of the climate control tools more economical in this region. Its decrement will generate problems of diseases and a drop of crop yield and quality. The solution to the reduction of natural ventilation was the installation of forced exhaust fans, to increase the renovations of air or at least to equal the previous condition (without anti-aphids mesh). In this research, the natural and forced ventilation with 15 and 30 air renovations per hour were studied. The results of the study indicated that the air renovations studied in the forced ventilation did not make a significant change in the greenhouse control microclimate. It was found that the fruit yield was not affected by the forced ventilation. Therefore, the forced ventilation did not improve the greenhouses microclimate control.

Index words: *temperature, relative humidity, absolute humidity, VPD, Solanum lycopersicon.*

INTRODUCCIÓN

En la región mediterránea, la disponibilidad de los plásticos y el bajo costo de la estructura han contribuido al rápido desarrollo de la agricultura protegida (Montero *et al.*, 2001; FAO, 2002). El tomate es la hortaliza más importante en muchos países y en la actualidad este cultivo ha adquirido importancia económica en todo el mundo. En la Unión Europea se cultiva tanto en la zona mediterránea como en la templada. En España, específicamente la provincia de Almería, es la principal zona de producción hortícola intensiva y una de las más importantes a nivel mundial, teniendo en la actualidad una superficie invernada superior a 37 000 ha y un valor de la producción comercializada de hortalizas, durante el periodo 2007-2008, superior a 2200 millones de euros (Durán-Altisent *et al.*, 2009).

En la producción en invernadero se distinguen dos tipos de ventilación: la natural y la forzada. En el caso

¹ Centro de Investigación en Química Aplicada. Enrique Reyna 140. 25253 Saltillo, Coahuila, México.

[‡] Autor responsable (maarellano@ciqa.mx)

² Universidad de Almería. Carretera Sacramento s/n. 04120 Almería, España.

³ Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923. 25315 Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

de la ventilación natural, la diferencia de presión sobre las aberturas es causada por los efectos del viento y por una diferencia en la temperatura del aire interior y exterior (Baptista *et al.*, 1999). La energía para el proceso de la ventilación forzada la aportan los ventiladores (Bakker *et al.*, 1995).

La ventilación natural es una de las mejores y más económicas herramientas de control del clima en los invernaderos. Interviene en los procesos de intercambio de aire entre el interior y exterior del invernadero, para reponer los niveles de concentración de CO₂, disminuir temperatura y humedad en su interior y en algunos cultivos, para favorecer la polinización y, por tanto, la fructificación (Boulard *et al.*, 1999; Zabeltitz, 2002). Sin embargo, el decremento en el índice de ventilación genera problemas de enfermedades y disminución en el rendimiento y calidad de los cultivos (Valera *et al.*, 1999), por lo que es necesario buscar alternativas que eviten estos efectos negativos. En algunas regiones, los horticultores protegen sus invernaderos cubriendo las áreas de ventilación con mallas de poro fino, para evitar los ataques de áfidos, mosca blanca y trips. Estos métodos son únicamente útiles cuando la reducción de la ventilación y, por tanto, el aumento de temperatura dentro del invernadero, causan menos problemas que los parásitos y las enfermedades que la malla trata de detener. Para compensar la pérdida del índice de ventilación debido a la malla anti-insectos, es necesario aumentar la superficie de ventilación en el grado máximo posible (Muñoz *et al.*, 1999; FAO, 2002; Fatnassi *et al.*, 2003). Generalmente se consideran necesarias 60 renovaciones de aire por hora para evitar un calentamiento superior al del aire exterior. Estas renovaciones se alcanzan cuando la velocidad del viento exterior excede de 1 m s⁻¹ en invernaderos con ambas ventanas (laterales y cenitales) abiertas.

En el caso de la ventilación forzada se distinguen dos tipos de sistemas: uno con base en la admisión del aire y los que se basan en la extracción del aire del mismo. El principio de la ventilación forzada es crear un flujo de aire a través del invernadero. Los ventiladores succionan el aire exterior al interior del invernadero, por medio de las aberturas situadas en el lado opuesto de los mismos (FAO, 2002; Zabeltitz, 2002). Los valores registrados en Inglaterra y Holanda, muestran que es necesaria una capacidad de ventilación de 40 renovaciones de aire por hora, para alcanzar condiciones deseables en un invernadero con ventilación mecánica. Como el costo de electricidad es alto en Holanda, este

método de ventilación es aplicado sólo en proyectos de investigación (Bakker *et al.*, 1995). En los experimentos realizados en Italia, en el periodo estival, se ha encontrado una eficacia pequeña de los sistemas de ventilación forzada, operando con 48 y 60 renovaciones de aire por hora, con disminuciones de 0.2 a 0.5 °C, con respecto a la ventilación natural (Tesi, 2001).

Se considera que la introducción de la ventilación forzada ocasiona mayores costos de producción y por estos motivos se han diseñado sistemas de ventilación forzada con bajas renovaciones de aire (15 y 30 renovaciones de aire por hora). El objetivo de este trabajo de investigación fue comparar los sistemas de ventilación natural y forzada con 15 y 30 renovaciones de aire por hora en la producción del cultivo de tomate y en los ciclos de otoño-invierno y primavera-verano.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización y Características de los Invernaderos

Los invernaderos fueron del tipo comercial y se localizaron en el municipio de El Ejido (36° 48' N, 2° 43' O y 40 m de altitud), Provincia de Almería, España. La cubierta plástica fue de polietileno de 200 µm, con carácter termo aislante y estructura de tubos de acero galvanizado y alambre, con cubierta asimétrica de raspa y amagado de 4.05 m en la cumbre y 3 m en el amagado que cubría una superficie de 10 080 m², con longitudes de 180 m y anchos de 60 m en cada uno de sus lados y superficies de ventilación cenital del 8.4% y lateral de 7.1%, con orientación de este a oeste. El invernadero con ventilación natural dispuso de un sistema de ventilación manual, formado por ventanas laterales del tipo deslizante, accionadas por una manivela y su apertura fue en sentido descendente; similar sistema presentan las ventanas cenitales, las cuales, son accionadas desde el suelo mediante una polea y cables de acero. El invernadero con el sistema de ventilación forzada fue dividido en dos secciones con fines de evaluación de dos diseños de baja y media renovación de aire por hora (15 y 30). Los ventiladores utilizados fueron los denominados de gran caudal. Se colocaron, en cada uno de los tratamientos, sensores a la altura del cultivo, modificándose cada vez que fue necesario, para medir las variables meteorológicas. Los ventiladores funcionaron cuando la temperatura alcanzó 26, 27 y 29 °C en el mes de abril, mayo y junio respectivamente.

El cultivo de tomate utilizado fue cv. Belletipo “Larga Vida”. El trasplante se realizó el 27 de enero y concluyó el 21 de junio. La polinización se realizó a partir del 3 de marzo, por medio de abejorros, con una densidad de 1 caja de abejorros, por cada 2000 m². El tipo de poda fue a un solo brazo y se realizó desde los 25 días después del trasplante, eliminando todos los tallos laterales, para conseguir mayor tamaño de fruto. El extremo de las plantas se ató con un hilo de rafia al emparrillado del invernadero, el cual sirvió como tutor. El meristemo apical fue podado en el 8° ramillete. La primera recolección inició el 30 de abril. El invernadero fue blanqueado el día primero de mayo con una dosis de 25 g m⁻² de carbonato de calcio “Blanco España”, para evitar el golpe de sol en los frutos de tomate; posteriormente se realizó una segunda aplicación de blanqueo con igual dosis el día primero de junio.

Riego, Nutrición y Sanidad

La aplicación del riego fue controlada por medio de un programa de riegos con base en la radiación solar recibida iniciando esta actividad cuando se llegaba a una acumulación de 200 J cm⁻². Por otra parte, la aplicación de los nutrientes fue con base en la solución nutritiva universal de Steiner, con consignas de conductividad eléctrica de 2 dS m⁻¹ y 30% de drenaje. El pH de la solución de entrada fue mantenido dentro del intervalo de 6 a 6.5. Las plagas que se presentaron en este estudio fueron: mosca blanca (*Trialeurodes vaporariorum* y *Bemisia tabaci*), minador de la hoja (*Liriomyza* spp.) y trips (*Frankliniella occidentalis*). Para su control se aplicó Calypso (Tiacloprid) en dosis de 0.45 L ha⁻¹, Tinamex (Abamectina) en dosis de 1 L ha⁻¹ y Keshet (Deltametrin) en dosis de 1L ha⁻¹, respectivamente.

Registro de Datos Microclimáticos

El registro de datos del microclima (interior y exterior del invernadero) se programó para efectuarse cada 10 min durante la duración del cultivo. Se utilizaron Dataloggers HOBO para el registro de la temperatura (-30 a 50 °C, con resolución de 0.2 °C) y humedad relativa (0 a 100%, con resolución de 3%). Estos dataloggers a su vez estiman los valores de la humedad absoluta y el punto de rocío. Se tuvieron dos repeticiones por tratamiento y una frecuencia en la toma de datos de 10 min las 24 h del día y durante el ciclo del cultivo. Para la medición de dirección (0 a 360°) y velocidad del viento (3.8 a

72 km h⁻¹) se utilizó el anemómetro industrial con veleta. El déficit de presión de vapor (DPV), fue estimado a partir de la ecuación de la presión de vapor a saturación (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

T_a = temperatura del aire (°C)

HR = humedad relativa (%)

Rendimiento del Fruto

Se registraron los datos de rendimiento total por muestreo y tratamiento, peso por fruto cosechado, número total de frutos por muestreo y por tratamiento (tres veces por semana). Para el registro del peso del fruto se utilizó una báscula Mettler, modelo BD601. Los muestreos de rendimiento de fruto se clasificaron de acuerdo con el sistema de clasificación comercial de la zona, con las siguientes categorías: categoría GG: frutos con pesos iguales o mayores de 225 g; categoría G: frutos con pesos comprendidos entre 160 y 224 g; categoría M: frutos con pesos comprendidos entre 90 y 159 g y categoría de desecho: frutos con algún tipo de dañado o malformación y con pesos menores de 90 g.

Diseño Experimental

El experimento se estableció en un experimento factorial 3² en un diseño completamente al azar. El factor A correspondió al sistema de ventilación [ventilación forzada con 30 y 15 renovaciones de aire por hora (VF30 y VF15) y sistema ventilación natural (VN)] y el factor B a las ubicaciones en el interior del invernadero (sector norte, centro y sur).

Se utilizaron dos invernaderos con características similares. En uno de los invernaderos se estableció el sistema de ventilación natural y el otro se subdividió para establecer los sistemas de ventilación forzada (Figura 1) diseñados para 15 y 30 renovaciones de aire por hora respectivamente.

Análisis Estadístico

Se utilizó el programa Statgraphics versión 5.0 plus para llevar a cabo el análisis estadístico de los datos.

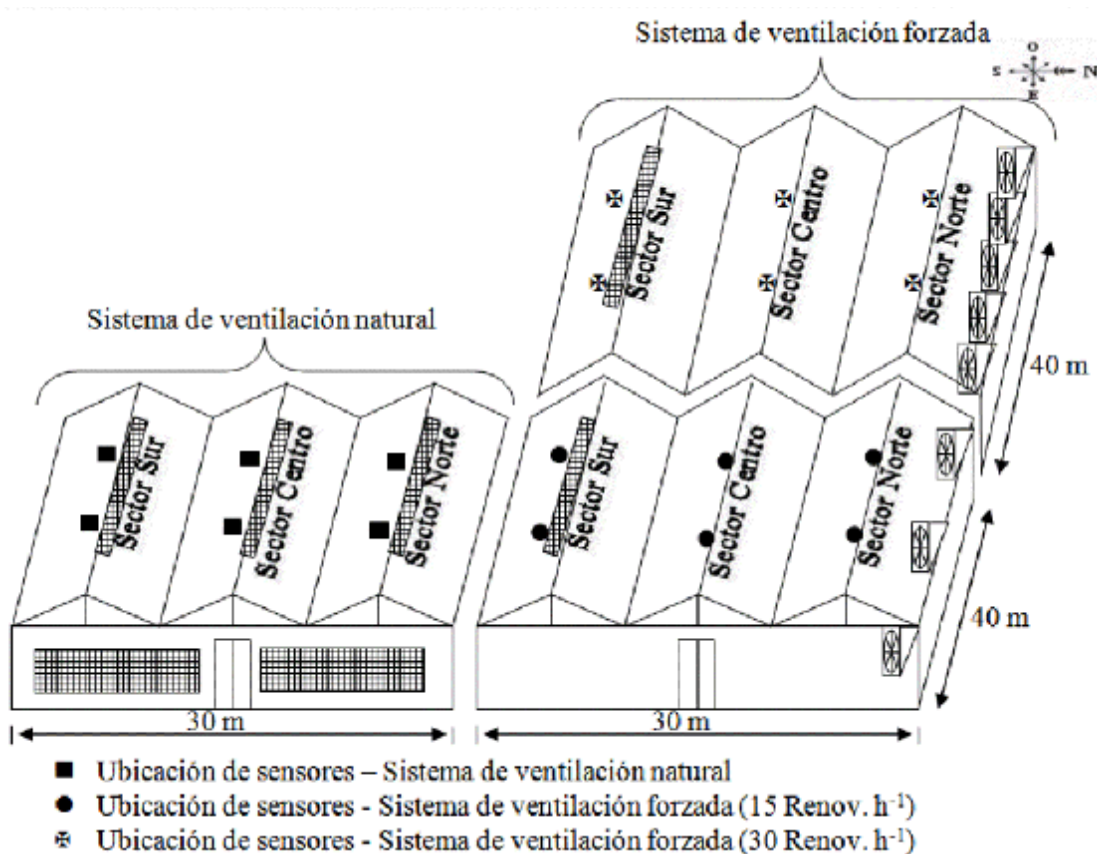


Figura 1. Representación esquemática de la ubicación de los sensores climáticos, puntos de muestreo y ventiladores de gran caudal (ventilación forzada).

Para las variables meteorológicas se realizó el análisis promediando cada hora, por semana y por la temporada del cultivo; posteriormente se llevó a cabo un análisis de varianza por hora y tratamiento, para el promedio de la temporada del cultivo, y de esta forma determinar la existencia de diferencias estadísticas significativas entre tratamientos. La comparación de medias se realizó mediante la prueba de Duncan ($P \leq 0.05$).

Cálculo de los Beneficios

Después de clasificar el fruto de tomate y registrar su peso por m², se obtuvo el precio (Euros) por kg de cada categoría comercial (M, G y GG) de las subastas realizadas en la fecha del muestreo; acumulando el beneficio total al final del ciclo de cultivo por tratamiento.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados encontrados para las variables microclimáticas en el interior de los invernaderos y para

el factor correspondiente a los sistemas de ventilación se muestran en la Figura 2. La variable temperatura a la altura del cultivo presentó diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre los tres sistemas de ventilación, en el periodo de 10 a 16 h. Los sistemas de ventilación forzada con 30 y 15 renovaciones por hora (VF30 y VF15) tuvieron en promedio del ciclo, 2 y 1.5 °C más de temperatura con respecto al sistema ventilación natural (VN). El salto térmico promedio en los sistemas de VF30 y VF15, alcanzó 4.5 °C y el sistema VN obtuvo 3 °C. Por lo tanto, el sistema de ventilación natural fue más eficiente que los sistemas de VF15 y VF30, para el desalojo de los excesos de temperatura en este cultivo y temporada. De acuerdo con Zabeltitz (2002) se deberían obtener saltos térmicos de 10 °C para el sistema VF15 y de 6.5 °C para el sistema VF30.

En general, el sistema de ventilación natural tuvo los menores saltos térmicos. El sector con mayores temperaturas en el interior del invernadero, corresponde al norte en los sistemas de ventilación forzada. El sistema de ventilación forzada con 30 renovaciones por hora,

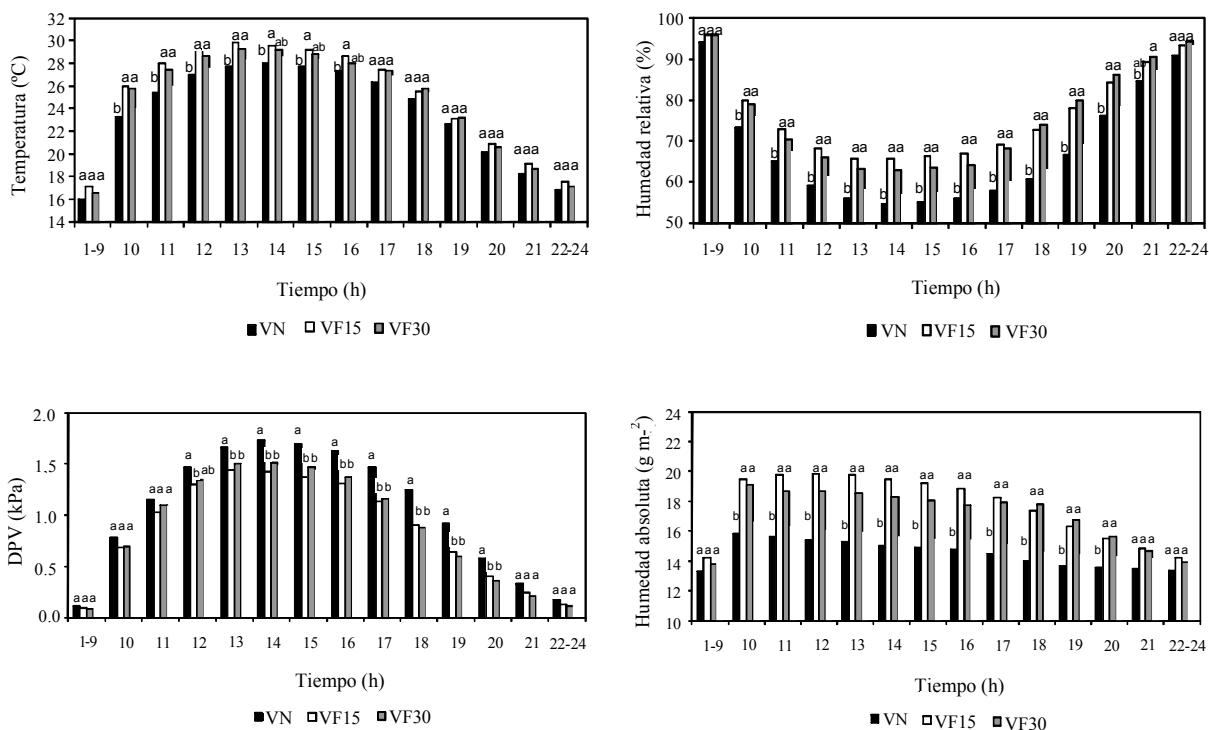


Figura 2. Variación de las condiciones microclimáticas promedio (temporada de cultivo) en el interior de los invernaderos por efecto del tipo de ventilación: VN = ventilación natural; VF15 = ventilación forzada a 15 renovaciones por hora; VF30 = ventilación forzada a 30 renovaciones por hora. Letras distintas sobre las barras indican diferencias significativas (Duncan, $P \leq 0.05$).

no causó cambios significativos en el microclima de los sectores norte y centro del invernadero y sólo modificó el microclima del sector sur, lugar donde se realizan los cambios microclimáticos más pronunciados en estos sistemas de ventilación forzada, ya que este sector constituye la entrada del aire del sistema.

La humedad relativa a la altura del cultivo fue alrededor del 90% durante la noche y mayor del 50% durante el día y existieron diferencias significativas entre los diferentes sistemas de ventilación ($P \leq 0.05$). Los sistemas de ventilación forzada (VF30 y VF15) registran similares valores de humedad relativa y ambos presentan una diferencia de aproximadamente 10% de humedad relativa con respecto al sistema de ventilación natural, durante el periodo de 10 a 21 h.

En cuanto al déficit de presión de vapor (DPV), éste alcanzó valores de 0.10 a 0.20 kPa durante la noche y de 1.7 kPa al mediodía. Los resultados estadísticos indican que existen diferencias significativas, en el periodo de 12 a 20 h ($P \leq 0.05$), entre los tres sistemas de ventilación. El sistema de ventilación natural causó el mayor DPV. Zolnier *et al.* (2000) mencionan que las limitaciones en el control del DPV son inevitables y,

además, incrementadas por altos niveles de radiación incidente y bajos índices de ventilación.

La humedad absoluta en esta temporada fue de 14 g m⁻³ durante la noche y de 16 a 20 g m⁻³ al mediodía. Se observaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre los tres sistemas de ventilación. Las diferencias se inician a las 10 h y terminan a las 21 h. Ambos sistemas de ventilación forzada registraron los más altos valores de humedad absoluta (18.20 y 17.60 g m⁻³, respectivamente). Por lo tanto, el sistema VN fue más eficiente para el desalojo de las altas humedades absolutas.

Entre los dos sistemas de ventilación forzada (VF15 y VF30) no se encontraron diferencias estadísticas significativas ($P > 0.05$) en cuanto a temperatura, humedad relativa, humedad absoluta y déficit de presión de vapor (Cuadro 1), pero ambos fueron estadísticamente diferentes ($P \leq 0.05$) a la ventilación natural en todos los parámetros microclimáticos estudiados.

El sistema de ventilación natural tuvo menor temperatura, humedad relativa y humedad absoluta que los sistemas de ventilación forzada. Por el contrario, registró un mayor DPV (1.22 kPa).

Cuadro 1. Parámetros microclimáticos promedio (temporada de cultivo) en invernaderos con diferentes sistemas de ventilación.

Sistema de ventilación	Parámetros microclimáticos			
	Temperatura °C	HR [†] %	DPV [‡] kPa	HA [§] g m ⁻³
Natural	24.90 b	63.60 b	1.22 a	14.70 b
Forzada (15)	26.40 a	73.30 a	0.99 b	18.20 a
Forzada (30)	26.10 a	72.30 a	1.01 b	17.60 a

[†] HR = humedad relativa; [‡] DPV = déficit de presión de vapor; [§] HA = humedad absoluta. Letras distintas sobre la misma columna indican diferencias significativas (Duncan, $P \leq 0.05$).

Por lo tanto, el sistema de ventilación forzada en su máximo índice de renovaciones por hora de esta evaluación (VF30), no superó los efectos microclimáticos registrados en el sistema de ventilación natural. En teoría, estos sistemas de ventilación forzada fueron creados para disminuir las altas temperaturas generadas en verano, en el interior del invernadero (ASAE, 1998; Kitaya *et al.*, 2003). Con base en los resultados anteriores es posible sugerir que para este cultivo y en esta temporada, no es conveniente diseñar los sistemas de ventilación forzada a menores índices de extracción de aire del invernadero con fines económicos, ya que la ventilación natural aunada a altos índices de área foliar, establecen las condiciones microclimáticas más cercanas a los niveles óptimos para este cultivo. Hanan (1998) menciona que la tasa de transpiración del cultivo es insuficiente para prevenir los excesos de temperatura durante el verano, por lo cual, se deberán emplear otros métodos para incrementar la conversión de calor sensible a calor latente. Sin embargo, Katsoulas *et al.* (2002) y Seginer (2002) no concuerdan con esta afirmación al mencionar que la transpiración es el mayor mecanismo para el enfriamiento del follaje de los cultivos en el invernadero. Resultados similares obtuvo Willits (2000) al concluir que los altos índices de área foliar son muy efectivos para reducir la temperatura de la hoja, quedando en entredicho muchos de los equipos de modificación del clima artificiales.

Este incremento en la transpiración, aumenta los contenidos de humedad absoluta en el interior del invernadero. A mayor humedad absoluta, mayor conversión de calor sensible a calor latente, disipando de esta forma, los excesos de temperatura (Bakker *et al.*, 1995). Similares resultados reportó Tesi (2001), quien argumenta que, cuando la cantidad de calor por kilogramo de aire húmedo permanece constante, se logra

un descenso en la temperatura aumentando el contenido en agua del aire. Sin embargo, al cerrar los invernaderos para el funcionamiento del sistema de ventilación forzada, el intercambio de aire es insuficiente para lograr la conversión de calor sensible a calor latente, propiciando la acumulación de humedad y la disminución del DPV, restringiendo, de esta forma, el crecimiento del cultivo.

Efecto del Microclima en el Rendimiento y Calidad del Cultivo de Tomate

Los sistemas de ventilación evaluados no tuvieron efectos significativos ($P \leq 0.05$) sobre el rendimiento total (Cuadro 2). Sin embargo, la evaluación por categorías, si muestra diferencias significativas. Las categorías M y G resultaron ser más productivas en los sistemas de ventilación forzada; con diferencias promedio de 846 y 1337 g m⁻², con respecto al sistema de ventilación natural. El sistema de ventilación natural produjo la mayor cantidad de frutos de la categoría GG, con una diferencia promedio de 1705 g m⁻². Estas discrepancias en las categorías hacen que el rendimiento final resulte similar en los tres sistemas estudiados.

Las diferencias microclimáticas encontradas en los sistemas de ventilación forzada como lo son mayor temperatura, humedad relativa y absoluta fueron las causantes de estas diferencias en el rendimiento de fruto del cultivo, pues de acuerdo con Bakker *et al.* (1995), Boulard *et al.* (1999), Hanan (1998) y Zabeltitz (2002), una ventilación suficiente es muy necesaria para el óptimo crecimiento del cultivo, especialmente en el caso de alta temperatura exterior, alta radiación solar, alta humedad y, en algunos cultivos, para favorecer la polinización y, por tanto, la fructificación.

Según Groenewegen (2002), una temperatura media relativamente alta causa un rápido crecimiento, desarrollo

Cuadro 2. Rendimiento de tomate en invernadero en respuesta a los sistemas de ventilación usados.

Sistema de ventilación	Categorías				Total
	Desecho [†]	M [‡]	G [§]	GG [¶]	
	- - - - - g m ² - - - - -				
Natural	1289 a	381 b	2808 b	8136 a	11325 a
Forzada (15)	350 c	1037 a	4213 a	6757 b	12006 a
Forzada (30)	673 b	1427 a	4078 a	6104 b	11609 a

[†] Desecho = frutos dañados y con peso < 90 g, [‡] M = peso de fruto entre 90 y 155 g, [§] G = peso de fruto entre 160 y 200 g, [¶] GG = peso de fruto > 225 g. Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas (Duncan, $P \leq 0.05$).

y precocidad en la cosecha, pero también causa un rendimiento total menor debido a frutos pequeños. Esto fue lo que sucedió en las categorías M y G de los frutos en los sistemas de ventilación forzada, al obtener un mayor rendimiento en comparación con el sistema de ventilación natural. Por el contrario una menor temperatura supone un alargamiento del periodo de cosecha y un mayor peso por fruto (Bertin *et al.*, 2000). Esto fue lo que sucedió en el sistema de ventilación natural al obtener 1.5 °C menos, que ambos sistemas de ventilación forzada (Cuadro 3). Cabe resaltar que en el sistema VN se produjo la mayor cantidad de tomate en la categoría de desecho. Esto se debió al efecto de las bajas temperaturas que se presentaron al inicio de la temporada del cultivo, la cual causó un mayor daño a los frutos del sistema de ventilación natural, precisamente por una mayor interrelación con el exterior, provocando un desorden fisiológico denominado cicatriz leñosa pistilar descrito por Cárdenas (1999).

Se encontró que el número de frutos es inferior para el sistema de ventilación natural (15% en general). Sin embargo, este parámetro es compensado por un mayor peso del fruto en este sistema de ventilación (Bertin *et al.*, 2000; Sato *et al.*, 2001). El peso de fruto fue superior en todos los sectores del sistema de ventilación natural (Cuadro 3) a excepción del sector sur, en donde fue estadísticamente igual a los demás.

La calidad comercial del fruto (eliminando frutos dañados o malformados) se centra principalmente en el calibre del mismo. En general, a mayor calibre, mayor será el precio de venta pagado por el comercio, por lo que los frutos de la categoría G y GG son más apreciados por el agricultor. El Cuadro 4 muestra los ingresos obtenidos (en Euros), en cada uno de los sistemas de ventilación estudiados. No se encontraron diferencias estadísticas entre los diferentes tratamientos.

Cuadro 3. Peso medio de fruto de tomate cultivado en invernadero en los sectores de los sistemas de ventilación.

Sistema de ventilación	Peso medio de fruto			
	Sector norte [†]	Sector centro	Sector sur	Sistema [‡]
	- - - - - g - - - - -			
Natural	235 a	224 a	221 a	227 a
Forzada (15)	194 b	216 ab	213 a	208 b
Forzada (30)	201 b	204 b	222 a	209 b

[†] Sectores en el interior del invernadero: sector norte, centro y sur.
[‡] Sistema = Sistema de ventilación. Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas (Duncan, $P \leq 0.05$).

Cuadro 4. Ingresos obtenidos por la venta de frutos de tomate por sector en invernaderos con diferentes sistemas de ventilación.

Sistema de ventilación	Ingresos obtenidos			
	Sector norte [†]	Sector centro	Sector sur	Sistema [‡]
	Euros m ⁻²			
Natural	6.19 a	6.93 a	6.54 a	6.55 a
Forzada (15)	6.46 a	6.02 b	7.17 a	6.55 a
Forzada (30)	6.34 a	6.27 a	5.45 b	6.02 a

[†] Sectores en el interior del invernadero: sector norte, centro y sur.
[‡] Sistema = sistema de ventilación. Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas (Duncan, $P \leq 0.05$).

Las diferencias iniciales de los sistemas de ventilación forzada, tales como una mayor precocidad, son anuladas por un mayor peso de fruto en las etapas finales del sistema de ventilación natural.

La ventaja inicial de los sistemas de ventilación forzada (mayor precocidad), en teoría debería mantenerse, si fuera capaz de desalojar los excesos de temperatura, para darle al cultivo, mejores condiciones microclimáticas, tendientes a la obtención de un mayor peso de fruto (temperaturas más frescas).

CONCLUSIONES

- Los resultados indican que los sistemas de ventilación forzada diseñados con 15 y 30 renovaciones de aire por hora fueron insuficientes para cumplir con los objetivos de bajar la temperatura y desalojar los excesos de humedad absoluta del interior de este tipo de invernaderos.

- El sistema de ventilación natural registró menor temperatura, humedad relativa, humedad absoluta y mayor déficit de presión de vapor (DPV).

Las diferencias en el DPV, entre ambos sistemas de ventilación, fue una de las causas de las diferencias en el peso de fruto.

-No se encontraron diferencias entre tratamientos, en cuanto a las ganancias obtenidas, en cada uno de los sistemas de ventilación estudiados.

LITERATURA CITADA

ASAE (American Society of Agricultural Engineers). 1998. Heating, ventilating and cooling greenhouses. ANSI/ASAE Standard EP 406.3. American Society of Agricultural Engineers. 2950 Niles Road. 49085 St. Joseph, MI, USA.

- Bakker, J. C., G. P. A. Bot, H. Challa and, N. J. van de Braak. 1995. Greenhouse climate control an integrated approach. Wageningen Pers. Wageningen, The Netherlands.
- Baptista, F. J., B. J. Bailey, J. M. Randall, and J. F. Meneses. 1999. Greenhouse ventilation rate: theory and measurement with tracer gas techniques. *J. Agric. Eng. Res.* 72: 363-374.
- Bertin, N., S. Guichard, C. Leonardi, J. J. Longuenesse, D. Langlois, and B. Navezk. 2000. Seasonal evolution of the quality of fresh glasshouse tomatoes under Mediterranean conditions, as affected by air vapour pressure deficit and plant fruit load. *Ann. Bot.* 85: 741-750.
- Boulard, T., R. Haxaire, M. A. Lamrani, J. C. Roy, and A. Jaffrin. 1999. Characterization and modelling of the air fluxes induced by natural ventilation in a greenhouse. *J. Agric. Eng. Res.* 74: 135-144.
- Cárdenas, T. F. 1999. El cultivo de tomate en el Parador y Roquetas de Mar. pp. 293-333. *In:* F. Camacho F. (ed.). Técnicas de producción de frutas y hortalizas en los cultivos protegidos. Caja Rural de Almería. Almería, España.
- Durán-Altisent, J. M., N. Retamal-Parra y R. Moratiel-Yugueros 2009. Cuestiones relevantes, referidas al sector hortícola, para la definición de la política de seguros agrarios: Situación actual y tendencias a corto y medio plazo. Centro de Estudios e Investigación para la Gestión de Riesgos Agrarios y Medioambientales. Universidad Politécnica de Madrid. http://aplicaciones.mapya.es/documentos_pwe/seminarios/sector_horticola_upm.pdf. (Consulta: julio 23, 2010).
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2002. El cultivo protegido en clima mediterráneo. Estudio FAO Producción y Protección Vegetal 90. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia.
- Fatnassi, H., T. Boulard, and L. Bouirden. 2003. Simulation of climatic conditions in full-scale greenhouse fitted with insect-proof screens. *Agric. For. Meteorol.* 118: 97-111.
- Groenewegen, J. H. 2002. Edible foliage and fruit crops. pp. 111-142. *In:* G. Stanhill and H. Z. Enoch (eds.). *Ecosystems of the World 20: Greenhouse ecosystems*. Chapter 5. Elsevier Sciences B. V. The Netherlands.
- Hanan, J. J. 1998. Greenhouses: advanced technology for protected horticulture. CRC Press. Boca Raton, FL, USA.
- Katsoulas, N., A. Baille, and C. Kittas. 2002. Influence of leaf area index on canopy energy partitioning and greenhouse cooling requirements. *Biosyst. Eng.* 83: 349-359.
- Kitaya, Y., J. Tsuruyama, T. Shibuya, M. Yoshida, and M. Kiyota. 2003. Effects of air current speed on gas exchange in plant leaves and plant canopies. *Adv. Space Res.* 31: 177-182.
- Montero, J. I., A. Antón, P. Muñoz, and P. Lorenzo. 2001. Transpiration from geranium grown under high temperatures and low humidities in greenhouses. *Agric. For. Meteorol.* 107: 323-332.
- Muñoz, P., J. I. Montero, A. Antón, and F. Giuffrida. 1999. Effect of insect-proof screens and roof openings on greenhouse ventilation. *J. Agric. Eng. Res.* 73: 171-178.
- Rosenberg, N. J., B. L. Blad and S. B. Verma. 1983. Microclimate: the biological environment. John Wiley and Sons. New York, NY, USA.
- Sato, S., Peet, M. M., and R. G. Gardner 2001. Formation of parthenocarpic fruit, undeveloped flowers and aborted flowers in tomato under moderately elevated temperatures. *Sci. Hortic.* 90: 243-254.
- Seginer, I., 2002. The Penman-Monteith evapotranspiration equation as an element in greenhouse ventilation design. *Biosyst. Eng.* 82: 423-439.
- Tesi, R., 2001. Medios de protección para la hortoflorofruticultura y el viverismo. Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Valera, D. L., F. Molina y J. Gil. 1999. Los invernaderos de Almería: Tipología y mecanización del clima. Servicio de publicaciones de la Universidad de Almería. Almería, España.
- Willits, D. H. 2000. Constraints and limitations in greenhouse cooling: Challenges for the next decade. *Acta Hortic.* 534: 57-66.
- Zabeltitz, C. V. 2002. Greenhouse structures. pp. 17-71. *In:* G. Stanhill and H. Z. Enoch (eds.). *Ecosystems of the world 20: Greenhouse ecosystems*. Elsevier Sciences B. V. The Netherlands.
- Zolnier, S., R. S. Gates, J. Buxton, and C. Mach. 2000. Psychrometric and ventilation constraints for vapor pressure deficit control. *Comp. Electron. Agric.* 26: 343-359.