



Manejo automático de malla sombra y del riego en un invernadero con tomates

Automatic handling of shade net and irrigation in greenhouse with tomatoes

Federico Hahn

Universidad Autónoma de Chapingo, km 38.5 carr México, Texcoco, México.

Recibido 03 marzo 2011; aceptado 30 marzo 2011

Resumen

Los invernaderos son utilizados para muchas aplicaciones, no solo cultivos. Invernaderos automatizados requieren de un controlador que abra y cierre mallas reduciendo la radiación incidente evitando una evapotranspiración excesiva del cultivo. Este trabajo contempla el desarrollo de un controlador de mallas y de irrigación aplicada en función a la radiación incidente ahorrando 35% de agua en tiempo de lluvias; con nubes o con la radiación lunar nocturna no se enciende la bomba. Las mallas permanecían cerradas durante la noche abriéndose al amanecer cuando la radiación era baja. En el experimento realizado con tomates dentro de un invernadero se utilizaron meses intercalados para analizar la operación manual de mallas y la operación automática de las mismas. La radiación incidente en las plantas fue máxima en Mayo y Agosto meses en que no se usaron mallas de sombreo. En Agosto la temperatura del aire aumentó arriba de 28°C reduciendo en un 50% el tamaño de las frutas. La temperatura de los frutos disminuyó 2.5°C con el uso de mallas reduciendo el agrietamiento en el tomate.

Palabras clave: Manejo de riego, invernaderos, manejo de mallas, radiación, peso de tomates, foto celdas.

Abstract

Greenhouse vegetable production in México and worldwide has become important. Following greenhouses automation, a simple controller was designed to open and close shading nets to reduce incident radiation and excessive evapotranspiration. Irrigation period were radiation controlled and did not turn on the pump with clouds or moon radiation, saving 35% of water. The nets remained closed during the night and were opened during scarce radiation. In the tomato greenhouse experiment, every three months analysis was carried on manual and automatic net control. Maximum incident radiation was achieved in May and August when no shading nets were used. Air temperature increased to 28°C in August decreasing by 50% fruit size. Fruit temperature decreased 2.5°C when nets were used decreasing tomato cracking.

Keywords: Irrigation management, greenhouse, shading management, radiation, tomato weight, photo-cell.

1. Introducción

La temperatura del aire afecta la velocidad de crecimiento, disminuye el peso del tomate (Hurd y Graves, 1985) y el tiempo en que el tomate madura. Pearce *et al.* (1993) determinaron incrementos de $5 \mu\text{m h}^{-1}\text{°C}^{-1}$ en

el diámetro de los tomates producidos entre 10 y 30 °C. Los tomates maduraron 65 y 42 días después del florecimiento de las plantas bajo ambientes controlados a 18 y 26°C, respectivamente (Adams *et al.*, 2001). Altas temperaturas del aire y fuertes

* Autor para correspondencia
E-mail: fhahn@correo.chapingo.mx (F. Hahn)

radiaciones causan una maduración dispareja (Mulholland *et al.*, 2003). Esta alta insolación puede prevenirse con el uso de cortinas de sombreo las cuales reducen la productividad del cultivo (Cockshull *et al.*, 1994). La reducción en la ventilación dentro de invernaderos depende del número de hilos en dirección longitudinal y ortogonal por centímetro (Cabrera *et al.*, 2006). Un invernadero recubierto por los lados con una malla de 50 mesh y una porosidad de 35% reduce la velocidad del viento de 6 m/s en el exterior a 0.5 m/s en el interior aumentando con la altura (Teitel *et al.*, 2006). Un invernadero recubierto por una malla con porosidad de 0.33 mantuvo las características del microclima constante con una variación máxima de un grado centígrado (Flores-Velasquez y Montero, 2008).

Las casas sombras constan de mallas antiafidos en sus extremos y una malla sombra en su parte superior la cual evita que excesos de radiación dañen al cultivo. La temperatura del aire aumenta durante el día alcanzando 33 grados a la 13:00 horas, reduciéndose a 28°C a las 19:00 horas. La temperatura dentro del invernadero aumenta con la altura disminuyendo un grado después de la malla (Moller *et al.*, 2003). En Israel, Tanny *et al.*, (2008) construyó invernaderos recubiertos con malla sombra de 2 x 3 cm. Durante el día (8:00 -16:00 h) la temperatura medida cerca de las plantas fue tres grados superior mientras en la noche el invernadero presentó una temperatura similar a la externa. En China, Zhang (2006) colocó mallas negras y plateadas en invernaderos con alturas de 3.5 m y ancho variable entre 6 y 8 m. Al comparar el microclima entre ambas mallas de 9:00 a 16:00, la diferencia en la temperatura del suelo en invernaderos techados fue de 3 – 5 °C y de 2 – 6 °C en el aire. La diferencia de la temperatura en el aire es de 1.9°C con la malla negra a las 14:00 h, pero no hay gran diferencia entre usar una malla negra o una plateada. Se nota un mayor decremento en la temperatura del suelo a 10

cm de profundidad con la malla plateada, ya que la radiación incidente es menor con esta malla.

El presente artículo presenta un sistema automático para controlar los sistemas de riego y la apertura y cierre de mallas de sombreo basado en la radiación directa y de la temperatura del aire y del fruto. El objetivo del equipo era optimizar el uso del agua lo cual se logra al regar cuando la planta es capaz de absorberla y al mismo tiempo evitar una alta transpiración con el uso de mallas. Se monitorearon diariamente las temperaturas del aire, del fruto, la radiación aplicada al cultivo de tomate y el peso de los frutos y se analizaron mensualmente; tres meses funcionó como control, tres meses con control de mallas manual y tres meses con control automático de mallas.

2. Material y métodos

La experimentación se realizó en la Universidad de Chapingo (19°29'N, 98°54'O) en un invernadero con ventilación natural teniendo apertura cenital y control lateral de mallas. Al invernadero se le colocó una malla sombra Raschel negra con 50% de transmitancia con control automático. El invernadero cuenta con un sistema de fertirriego el cual controla la inyección de la solución nutritiva mediante válvulas las cuales tuvieron que ser manejadas por el nuevo controlador.

Dos mil plántulas de tomate variedad Roma fueron sembradas el primero de Febrero del 2009 iniciando la cosecha en Junio y los frutos fueron recolectados mensualmente hasta Noviembre. Las plántulas fueron sembradas cada 30 cm en bolsas de polietileno conteniendo tezontle como sustrato y recibiendo 1.75 litros/día durante los meses de fructificación. Los tratamientos considerados fueron T1: control, T2: malla manual y T3: malla automática. No obstante las evaluaciones fueron realizadas durante la etapa vegetativa Febrero-Abril y en la de fructificación de Mayo a Octubre. El

muestreo se realizó durante un mes para cada tratamiento para poderlos comparar. Así para el tratamiento de control, T1, las cortinas laterales permanecieron cerradas y la malla de sombreo abierta durante los meses de Febrero, Mayo y Agosto. En el tratamiento T2 las mallas laterales se abrieron manualmente durante el día y se cerraron en la noche durante los meses de marzo, Junio y Septiembre. En el tercer tratamiento monitoreado durante los meses de abril, julio y octubre el invernadero operó automáticamente durante el día y la noche.

Operación del controlador

Un diagrama a bloques del control utilizado para manejar las mallas y el riego se muestra en la Figura 1. Se aprecian dos salidas: control de riego y control de mallas para limitar la radiación. Las variables adquiridas por el controlador fueron la radiación directa y la temperatura del aire las cuales se monitorearon durante los meses de Febrero a Octubre. La temperatura del fruto se monitoreo diario pero no era utilizado por el controlador. Los pulsos de irrigación durante el día dependen de la irradiación la cual era captada por una celda solar (mod LGPHOTO, Futurec, New York, USA) o un fototransistor (mod PN107F, Panasonic, USA). La foto celda proporciona una resistencia variable la cual al conectarse a una fuente de voltaje de 10 voltios carga un capacitor (Figura 1). El voltaje de carga del capacitor se introduce a un comparador y la señal de salida activa un contactor de estado sólido conectado a la bomba de riego. El tiempo de encendido de la bomba está regulado por un temporizador el cual se programa considerando la cantidad de agua requerida por los tomates en un día soleado. Se comparó la operación del fototransistor con la celda solar pues son capaces de detectar diferencias entre el día con sol radiante y el día nublado. La apertura o cierre de la malla utilizó un sensor de iluminación que proporcionó 10 mV/100 Klux (mod LI210SL, LI-COR Inc, USA).

Este sensor almacenó los datos en un registrador cada 10 minutos (mod. CR1000, Campbell Scientific, USA).

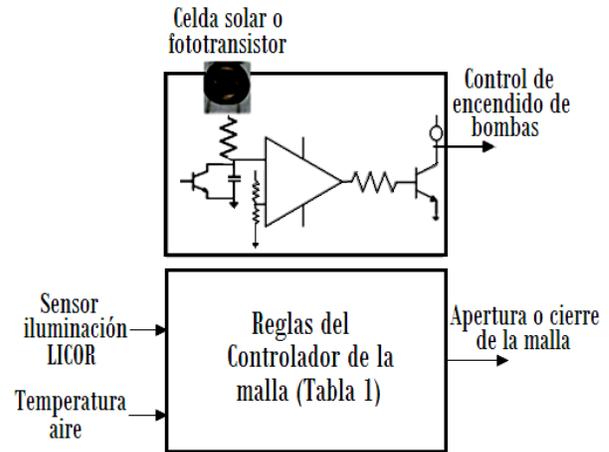


Figura 1. Controlador de riego y malla

Ocho sensores RTD de platino (mod. RP502T22, Advanced Thermal Products Inc., USA) midieron la temperatura en la superficie de tomates seleccionados aleatoriamente y tres termopares tipo J conectados a transmisores (model TxRail 4-20 mA, Novus, Brasil) midieron la temperatura del aire. Las mediciones de temperatura se realizaron cada 10 minutos y se almacenaron en el registrador.

Tabla 1

Diferentes pruebas de control para el manejo de las cortinas.

Op-ción	Variables usadas
1	Rad lateral@300 W/m ² y rad superior@700 W/m ²
2	Temperatura de 28°C
3	Temperatura de 28°C y rad superior@700 W/m ²
4	Temperatura de 28°C y rad lateral@300 W/m ²

Cuatro algoritmos se utilizaron para abrir y cerrar las cortinas usando como variables la temperatura y la radiación (Tabla 1). Las cortinas laterales se abrían con una irradiación de 300 W/m²; la malla sombra

superior era cerrada al sobrepasar 700 W/m^2 . Algunos cultivos como lechuga y pepino no soportan altas condiciones de radiación. Como la radiación requerida para abrir las cortinas laterales y la superior son diferentes, se optó por utilizar dos comparadores.

3. Resultados y discusión

3.1 Producción automática de intervalos de riego

La intensidad de la radiación como tal no es detectada por la foto-celda, pero mientras esté saturada cargará al capacitor proporcionando disparos de accionamiento para la bomba; el capacitor solo se carga cuando el día está soleado. Al compararse el voltaje obtenido por la foto-celda contra un voltaje de 6 voltios, produce 7 pulsos de riego (Figura 2).

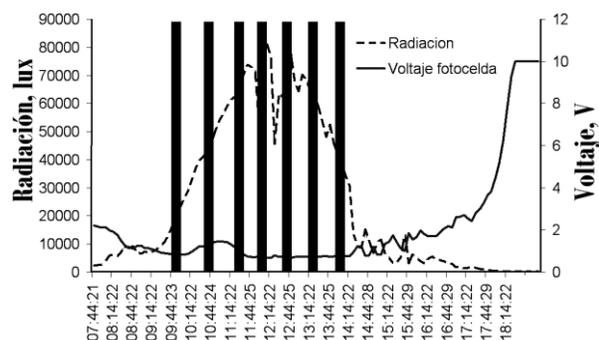


Figura 2. Pulsos de accionamiento de la bomba usando un voltaje de comparación de 6.

La cantidad de agua diaria aplicada por planta es de $(7 \times 3/12) = 1.75$ litros/día usando goteros de 3 litros/h y períodos de riego de 5 minutos. La carga del capacitor debe trabajar en su región lineal para no perder precisión en el encendido de la bomba; al aumentar el tamaño del capacitor, este tarda más en cargarse y la cantidad de riegos disminuye. El voltaje que se presenta en el eje derecho de las figuras 2 y 3 representa el voltaje de caída a través de la foto-celda y no la carga almacenada por el capacitor. La foto-celda es

incapaz de obtener un voltaje proporcional con intensidades de 80,000 luxes por lo que no pudo utilizarse para cerrar la cortina.

La temperatura ambiental dentro del invernadero depende de la radiación la cual presenta un pico de 80,000 luxes (800 W/m^2) a las 12:15 pm. Con un voltaje de comparación de 4, la cantidad de riegos es más frecuente siendo 23 (Figura 3). Para un consumo de agua por planta de 1.75 litros/día usando el mismo gotero de 3 litros/hora se requiere programar el temporizador a 1.52 minutos. En el caso de días nublados la radiación aparece en forma de picos y el capacitor tarda mucho más tiempo en cargarse por lo cual los pulsos de riego para encender la bomba desaparecen. En las noches con luna la radiación tiende a ser un poco mayor a la encontrada en un día nublado pero la carga del capacitor no alcanza el voltaje de comparación y por ende la bomba no se enciende. Con el control de riego accionado por radiación se regaron idénticamente los tres tratamientos hasta Mayo. Durante los períodos de lluvia en Junio, julio y Agosto hubo un ahorro del 35% en la cantidad de agua aplicada.

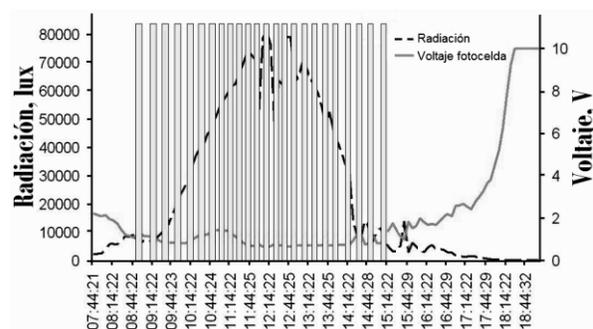


Figura 3. Pulsos de accionamiento de la bomba usando un voltaje de comparación de 4.

El foto transistor trabaja en su región lineal para radiaciones menores a 200 W/m^2 siendo mucho más sensible que la foto-celda (Figura 4). No obstante, en días medio nublados detecta irradiación y su control no funciona adecuadamente. Algunos fototransistores

tienen anchos de bandas restringidos y algunos no coinciden con las bandas fotosintéticas activas; por lo tanto se optó en utilizar foto-celdas.

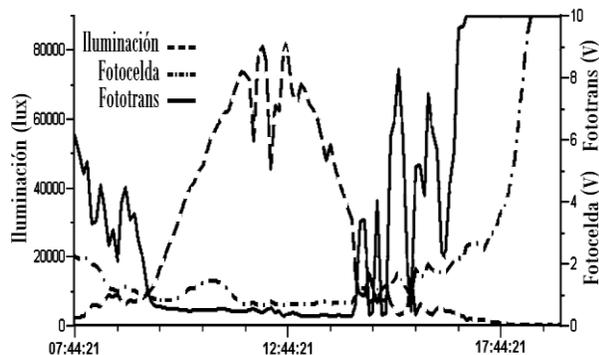


Figura 4. Medición de la radiación con fototransistor.

La Tabla 2 muestra las temperaturas medidas a las 12:00 horas en el suelo y en el aire bajo las diferentes condiciones de control de mallas antes de sembrar los tomates.

Tabla 2

Temperatura y velocidad del aire obtenida a las 12 del día para cada condición.

Condi- ción	Temperatura del suelo	Temperatura en el aire (°C)	Velocidad del aire (m/s)
1	32	33	0.5
2	32	28	0
3	27	28	0.1
4	25	28	0.5

Utilizando los cuatro criterios de control se apreció que aquellos que cuentan con control de temperatura son eficientes para mantener la temperatura del aire más no la del suelo. La temperatura del suelo se reduce al abrirse las cortinas laterales debido a la circulación del viento; la cortina superior debe cerrarse

cuando la temperatura del aire supere los 28°C.

3.2. Monitoreo del cultivo en el invernadero

La temperatura mensual del aire promediando los valores obtenidos durante el día y la noche se muestra en la Tabla 3, siendo el mes más caliente Agosto y durante este mes las cortinas laterales permanecieron cerradas y la superior abierta. Estas altas temperaturas evitan el desarrollo normal de las plantas de tomate.

En el mes de Septiembre con la operación manual de las cortinas la temperatura disminuyó 4.8°C a pesar de que la temperatura externa al invernadero se mantuvo igual que en Agosto. En Octubre la temperatura dentro del invernadero decreció 2.8 grados con respecto a Septiembre al utilizar el sistema automatizado de apertura de mallas y riego. En los meses de Junio y Julio la utilización de las mallas mantuvo la temperatura debajo de 25 °C. Wada *et al.*, (2006) analizaron las temperaturas durante los periodos de fructificación y obtuvieron promedios de 28.4 °C y 25 °C en Junio y Julio, respectivamente. Altas temperaturas aumentan el contenido de azúcares del tomate (Yanagi *et al.*, 1995).

La radiación en México tiende a mantenerse constante durante el año, a diferencia de Japón donde se aprecia una variación de 3 MJ m² entre el mes de Febrero y el de Agosto (Wada *et al.*, 2006). La fruta producida por planta disminuye entre 84 y 100 g/planta al bajar la radiación total diaria por 1 MJ m⁻² a temperaturas de 19 y 27°C, respectivamente (Wada *et al.*, 2006). La mayor radiación aplicada a las plantas ocurrió en los meses de Mayo y Agosto cuando la cortina de sombreo no operó y bajo a 8.6 MJ m⁻² al abrirse la malla durante todo el día en Junio. El cambio fue apreciable con el sistema automático al reducir por 80% la radiación.

Tabla 3

Temperaturas mensuales del aire y del tomate, peso del tomate y radiación diaria acumulada promedio por mes.

	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct
Temperatura aire, °C	17.2	18.5	18.9	19.6	24.7	24.9	28.7	23.9	21.1
Radiación, MJ m ⁻²	7.8	7.2	7.5	8.8	8.4	7.1	8.8	7.4	7.9
Temperatura fruta, °C				17.9	21.9	22.7	27.3	21.2	19.8
Peso tomate, g				57.1	49.3	48.3	42.1	43.4	45.2

La temperatura del fruto fue siempre inferior al del aire y se debe a que contiene agua en su interior manteniéndola fresca. Al usar las mallas en forma manual se redujo la temperatura de las frutas por más de 2.5 °C durante Junio y Septiembre. La reducción de la temperatura en las frutas fue más gradual en los meses de Julio y Octubre donde las mallas se controlaron automáticamente. Al usar mallas se redujo la temperatura en las frutas de 3 a 5°C (Cockshull *et al.* 1992). El consumo de agua de riego puede reducirse a un 70% con el uso de mallas ya que la evapotranspiración disminuye; el control debe modificarse y no ser únicamente dependiente de la radiación.

El peso promedio por fruta cambió mensualmente a partir del mes de Mayo donde se obtuvo el mayor peso promedio de 57.1 g. A pesar que la temperatura del aire en Junio y Julio es similar se registró una reducción en el peso de los frutos lo cual se atribuye a la reducción de radiación con el control de las malla sombra. El aumento de temperatura en el aire disminuyó el peso del tomate (Hurd y Graves, 1985) y en Agosto el tamaño de las frutas se redujo a la mitad; este valor es mayor al 35 % reportado por Adam *et al.*, (2001) para tomates producidos en ambientes controlados con temperaturas superiores a 26°C.

Al no existir control alguno la reducción de temperatura solo puede realizarse utilizando métodos tradicionales de enfriamiento. El mayor agrietamiento de los tomates se

presentó en Mayo al haber radiación excesiva y frutas más pesadas, disminuyendo al utilizar mallas aumentando la humedad relativa. Ohta *et al.*, (1998) determinaron que irradiación nocturna disminuye el agrietamiento de tomates cherry producidos hidropónicamente.

4. Conclusiones

Se puede concluir que una foto-celda es económica y controla el encendido de la bomba en función de la radiación inyectando 1.7 litros por planta durante la fructificación independiente de la frecuencia del riego. En los meses de Junio, Julio y Agosto no se presentaron riegos durante los intervalos nublados del día reduciendo en un 35% el uso del agua. El control automático para abrir y cerrar las mallas no puede realizarse mediante el uso de foto-celdas o fototransistores ya que se saturan por lo que es necesario contar con un sensor de iluminación que alcance a medir 100 klux. El microclima del invernadero no se optimizó ya que no era el objetivo del trabajo sino la dosificación del riego en base a los requerimientos fotosintéticos de los tomates. La radiación recibida por el cultivo no es el único parámetro considerado ya que con la malla se redujo la transpiración. Durante la producción el uso de la malla sombra resulta más económica que los sistemas de enfriamiento. La temperatura del suelo o del sustrato se reduce al abrir las cortinas laterales debido a la circulación del viento; la cortina superior debe cerrarse

cuando la temperatura del aire supere los 28 °C.

En la producción de tomates se apreció que la radiación máxima aplicada a las plantas ocurrió en Mayo y en Agosto cuando no se usaron mallas de sombreo. En Agosto la temperatura del aire aumentó arriba de 28°C reduciendo en un 50% el tamaño de las frutas. El uso del control automático de mallas redujo a un 80% la radiación incidente disminuyendo la temperatura dentro del invernadero. La temperatura de los frutos disminuyó 2.5°C cuando se usaron las mallas reduciendo problemas fisiológicos en el tomate tal como el agrietamiento.

Referencias

- Adams, S.R.; Cockshull, K.E.; Cave, C.R.J. 2001. Effect of Temperature on the Growth and Development of Tomato Fruits. *Annals of Botany* 88: 869-877.
- Cabrera, F.J.; López, J.C.; Baeza, E.J.; Pérez-Parra, J. 2006. Efficiency of Anti-Insect Screens Placed in the Vents of Almería Greenhouses. *Acta Horticulturae* 719: 605-614.
- Cockshull, K.E.; Graves, C.J.; Cave, C.R.J. 1992. The influence of shading on yield of glass house tomatoes. *Journal of Horticultural Science* 67: 11-24.
- Flores-Velazquez, J. y Montero, J.I. 2008. Computational Fluid Dynamics (CFD) Study of Large Scale Greenhouses. *Acta Horticulturae* 797: 117-122.
- Hurd, R.G.; Graves, C.J. 1985. Some effects of air and root temperatures on the yield and quality of glasshouse tomatoes. *Journal of Horticultural Science* 60: 359-371
- Möller, M.; Teitel, M.; Tanny, J.; Cohen, S. 2003. Micrometeorological Characterisation in a Screenhouse. *Acta Horticulturae* 614: 445-451.
- Mulholland, B. I.; Edmondson, R.N.; Fussell, M.; Basham, J.; Ho, L.C. 2003. Effects of high temperature on tomato summer fruit quality. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 78: 365-374.
- Ohta, K.; Tsurunaga, K.; Hosoki, T. 1998. Possibility of controlling fruit cracking in cherry tomatoes by light treatment at night. *Journal Japanese Society of Horticulture* 67: 216-218.
- Pearce, B.D.; Grange, R.I.; Hardwick, K. 1993. The growth of young tomato fruit. Effects of temperature and irradiance on fruit grown in controlled environments. *Journal of Horticultural Science* 68: 1-11.
- Tanny, V.; Teitel, M.; Barak, M.; Esqira, Y.; Amir, R. 2008. The Effect of Height on Screenhouse Microclimate. *Acta Horticulturae* 801: 107-114.
- Teitel, M.; Liran, O.; Barak, M.; Tanny, J. 2006. Air Velocities in a Naturally Ventilated Greenhouse. *Acta Horticulturae* 719: 189-196.
- Wada, T.; Ikeda, H.; Matsushita, K.; Kambara, A.; Hirai, H.; Abe, K. 2006. Effects of shading in summer on yield and quality of tomatoes grown on a single-truss system. *Journal Japanese Society of Horticulture* 75: 51-58.
- Yanagi, T.; Ueda, E.; Sato, H.; Hirai, H.; Oda, Y. 1995. Effects of shading and fruit set order on fruit quality in single truss tomato. *Journal Japanese Society of Horticulture* 64: 291-297.
- Zhang, Z.B. 2006. Shading Net Application in Protected Vegetable Production in China. *Acta Horticulturae* 719: 479-486.