

COMPARACIÓN DE PARÁMETROS METEOROLÓGICOS DENTRO Y FUERA DE UN INVERNADERO PARA EL CÁLCULO DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS DE UN CULTIVO BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO EN OCUITUCO, MORELOS

Helene Emmi Karin Unland Weiss y Juan Manuel Ángeles Hernández

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Morelos, México, email: helene@tlaloc.imta.mx,
jangeles@tlaloc.imta.mx

Resumen

En la República Mexicana, la agricultura de riego actualmente consume el 78% del agua total utilizada, mientras que, la demanda de agua por otros usos (doméstico, servicios, industrial y recreación) está en aumento continuo, lo que ha causado una tendencia a reducir el porcentaje de agua disponible para la agricultura, aunando que la demanda de alimentos por la población es cada vez mayor. Para ofrecer una solución a esta problemática de la agricultura de riego, se busca incrementar la productividad del agua.

La agricultura protegida bajo condiciones de invernadero representa una excelente alternativa para reducir los volúmenes de agua aplicados a los cultivos y al mismo tiempo, elevar la producción, lo cual se refleja en el incremento de la superficie con invernaderos en los últimos años y en el incremento de la tecnificación de riego incluyendo el uso de sistemas de riego de alta eficiencia. Un aspecto emergente del proceso de tecnificación es la instrumentación de los invernaderos con sensores agrometeorológicos para determinar los requerimientos hídricos reales de los cultivos bajo condiciones de invernadero, ya que hay diferencias importantes entre las condiciones ambientales dentro y fuera del invernadero.

Como parte de este estudio, se instrumentó un invernadero en la población de Ocuituco, estado de Morelos, para llevar a cabo la producción de un cultivo de jitomate indeterminado, desarrollado bajo condiciones de ambiente protegido. Los datos de los sensores adentro y afuera del invernadero se utilizaron para estimar la evapotranspiración de referencia (ET_o). En base de la ET_o y datos del desarrollo fenológicos del cultivo, se calculó la evapotranspiración real del cultivo y el requerimiento de riego con fines de verificar la programación de los intervalos de riego. Adicionalmente, se exploró la influencia de la transmisividad del material de plástico del invernadero en la evapotranspiración del cultivo, contrastando los valores de radiación solar y las diferencias en temperatura y humedad relativa resultantes, de los sensores instalados adentro y afuera del invernadero. Resultados indican que hay diferencias significativas entre las variables meteorológicas medidas adentro y afuera del invernadero, con impactos importantes en la demanda hídrica del cultivo de jitomate y su desarrollo. Se observó una evapotranspiración reducida por la transmisividad del techo de plástico que redujo la radiación solar recibida dentro del invernadero en un 30%. Por otro lado, el efecto en el requerimiento de riego fue variable con valores más altos dentro que fuera del invernadero en días lluviosos y más bajo dentro que fuera durante días secos. Basado en las observaciones de temperatura y humedad relativa, se recomienda implementación de un sistema de ventilación mecánica para mejorar el ambiente dentro del invernadero, creando condiciones más adecuados para el desarrollo del cultivo y una mejor calidad y rendimiento del fruto.

Objetivo

En el estudio presente se efectuaron mediciones de variables de clima para comparar la evapotranspiración de referencia dentro y fuera de un invernadero y definir sus implicaciones en el requerimiento de riego y manejo del cultivo de jitomate.

Metodología

Se instrumentó un invernadero de 4,000 m² de superficie en la población de Ocuituco, estado de Morelos, para llevar a cabo la producción de un cultivo de jitomate indeterminado, desarrollado bajo condiciones de ambiente protegido. El invernadero cuenta con una estructura de aluminio, conformado por seis naves cada una, cubierta con plástico polietileno, y un sistema de mallas laterales para protección antiáfidos. En el sitio escogido, a 18°52.881 de latitud norte y 98°47.039 de longitud oeste, con una altura de 1852 m.s.n.m, se registraron los promedios, máximos y mínimos de los siguientes parámetros meteorológicos en intervalos de 15 minutos: precipitación, velocidad y dirección del viento, radiación solar, temperatura y humedad relativa afuera del invernadero, y radiación solar, temperatura, humedad relativa y del suelo adentro del invernadero (Figura 1). Los sensores de temperatura y humedad relativa se instalaron a la misma altura (1.80 m) dentro y fuera del invernadero. El piranómetro dentro del invernadero se instaló sobre una estructura metálica de soporte, arriba de la altura máxima de las plantas de jitomate. El piranómetro, anemómetro, y pluviómetro afuera del invernadero se instalaron sobre el techo a 5.0 m de altura, ya que no hay otro sitio despejado adecuado para medir entre los invernaderos. Basado en los datos de los sensores adentro y afuera del invernadero se estimó la evapotranspiración de referencia (ET_o) usando el método de Penman-Monteith (Allen *et al.*, 1998). En base de la ET_o, la fecha de siembra (12 de diciembre 2010) y de transplante (12 de enero 2011), y el coeficiente de cultivo para jitomate, se calculó la evapotranspiración real del cultivo (ET_r) y el requerimiento de riego (RR). Para condiciones afuera del invernadero, se restó la precipitación efectiva de la ET_r para estimar el requerimiento de riego, mientras que, para condiciones dentro del invernadero, el requerimiento de riego es igual a la ET_r ya que la cubierta de plástico del invernadero evita que entra lluvia adentro.



Figura 1. Anemómetro, veleta, pluviómetro y piranómetro afuera del invernadero (izquierda); piranómetro (en medio), caja de instrumentación y sensores de temperatura y humedad relativa (derecha) adentro del invernadero.

Resultados

Se midieron las variables de clima dentro y fuera del invernadero de Ocuituco, Morelos desde principios de julio hasta fines de septiembre 2011. Para efectuar las comparaciones de variables de clima, se escogió un periodo representativo de 10 días en julio cuando todos los sensores estaban funcionando correctamente. Figuras 2 a 4 muestran la radiación solar, temperatura del aire y humedad relativa, respectivamente, medidas dentro y fuera del invernadero. Valores graficados son promedios de 15 minutos. Basándose en datos promedios diarios para el periodo de 22 a 31 de julio 2011, la radiación solar dentro del invernadero fue 29.6 % más baja que la medida afuera del invernadero, lo que indica una transmisividad del material de plástico del techo del invernadero de un 70% aproximadamente. En comparación, para el mes de agosto, se calculó una transmisividad promedio de 78%. Las diferencias se deben a que durante todo el periodo de mediciones, no hubo días completamente soleados, ya que se midió solamente durante la temporada de lluvias, y no fue posible llegar a una estimación más precisa de la transmisividad bajo las condiciones nubladas prevalentes (Figura 2).

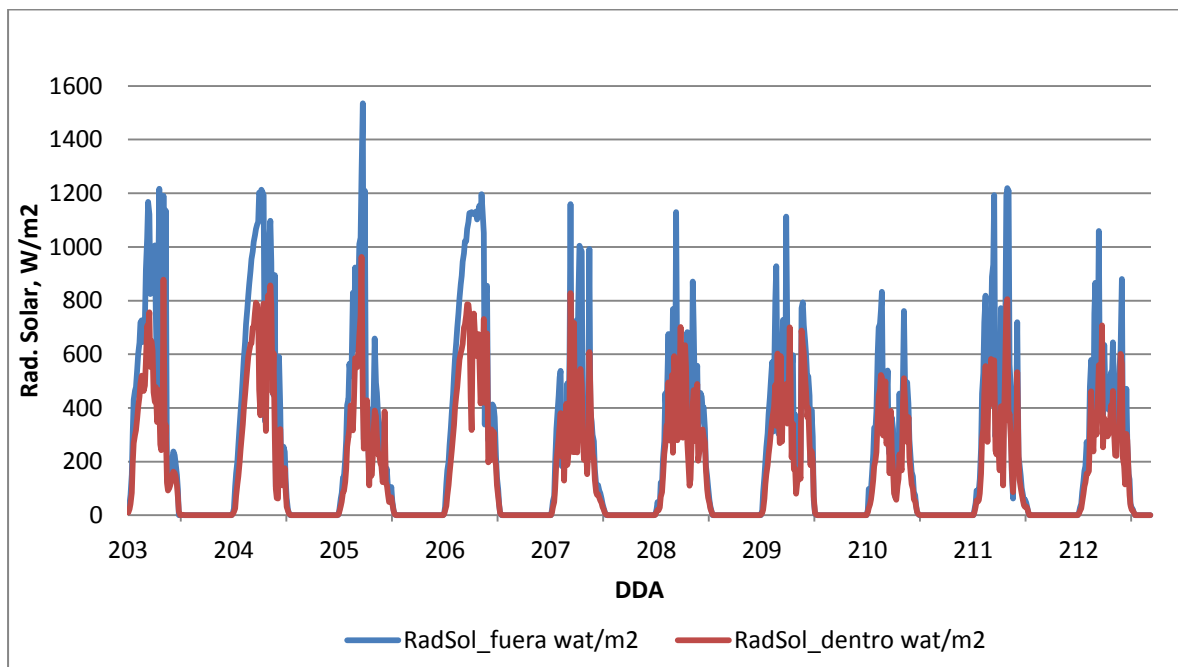


Figura 2. Radiación solar medida dentro y fuera del invernadero, 22-31 Julio 2011

La comparación de la temperatura máxima diaria dentro y fuera del invernadero arrojó una diferencia promedio de 7.4 °C o 27.8% más alto dentro que fuera del invernadero durante el periodo 22-31 de julio 2011, mientras que para todos los datos de principios de julio hasta fines de agosto, la diferencia promedio fue de 25%. Por otro lado, la diferencia en las temperaturas mínimas diarias no fue significativa (solamente 0.2 °C o 1.6% más bajo dentro que fuera del invernadero). Lo anterior se debe a que el invernadero bajo estudio solamente tiene material de plástico en el techo, mientras que los lados son cubiertos por malla-sombra que deja circular el aire. La parte más alta del techo también cuenta con malla-sombra para ventilación, sin embargo, es aparente de los datos que la ventilación en este invernadero es insuficiente, ya que frecuentemente durante medio día las temperaturas dentro del invernadero exceden el umbral máximo de temperatura recomendado para jitomate para iniciar ventilación mecánica

(23.9 °C, Cuadro 1 y Figura 3), ya que temperaturas arriba de los 25 °C reducen o impiden completamente la fertilización de las flores. Además, en este invernadero frecuentemente se supera la temperatura óptima máxima de 29.4 °C afectando el desarrollo de la fruta (causando amarillamiento) y de la planta y su sistema de raíces en general.

Cuadro 1. Temperaturas críticas para cultivos en invernaderos de tunel alto.

Cultivo	Etapa de crecimiento	Temp. óptima (°C)	Temp. máx (°C)	Temp. límite para ventilar (°C)
Jitomate	Transplante-floración	21.1 - 23.9	29.4	23.9
	Floración-cosecha	21.1 - 23.9	29.4	18.3
Pimienta	Transplante-floración	21.1 - 26.7	29.4	23.9
	Floración-cosecha	21.1 - 26.8	32.2	23.9
Berejena	Transplante-floración	21.1 - 29.4	35.0	26.7
	Floración-cosecha	21.1 - 29.5	35.0	26.7
Curcubitáceas	Transplante-floración	21.1 - 29.6	32.2	26.7
	Floración-cosecha	23.9 - 29.7	32.2	26.7
Verduras de hoja verde	Siembra-cosecha	15.6 - 18.3	23.9	12.8
Fresa	Siembra Otoño	12.8 - 21.1	23.9	15.6
	Cosecha primavera	18.3 - 23.9	23.9	15.6
Zarzamora	Cosecha Otoño	21.1 - 26.7	32.2	32.2
Frambuesa	Cosecha Otoño	15.6 - 23.9	26.7	23.9

Fuente: Lewis W. Jett, West Virginia University Extension Service

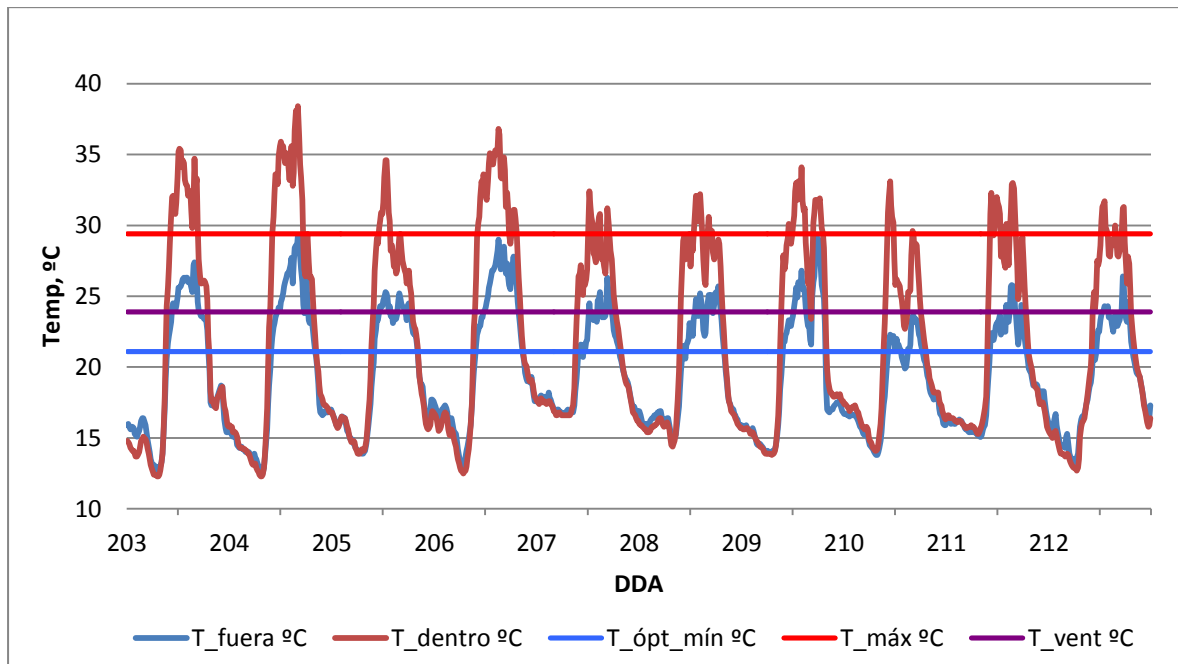


Figura 3. Temperatura del aire medida dentro y fuera del invernadero, 22-31 Julio 2011

Con respecto a la humedad relativa (HR) promedio diaria, durante el periodo de 22-31 julio 2011, se observó una HR 16.8% más alta dentro que fuera del invernadero, mientras que para el periodo entero de observación de principios de julio hasta fines de agosto, la diferencia porcentual fue de 16.8 %. Figura 4 muestra que las diferencias mayores ocurrieron durante las noches con diferencias menores a medio día. En general, las diferencias de HR entre día y noche fueron más grandes dentro que fuera del invernadero, lo que es perjudicial para el desarrollo del cultivo, ya que la HR durante la noche sube hasta casi 100%, mucho más alto que el umbral óptimo de HR entre 60 y 70% ideal recomendado por la Universidad del Estado de Mississippi para el crecimiento del jitomate. Cuando la HR es demasiado alta, afecta la polinización de las flores del jitomate, ya que el polen tiende a formar bolas en vez de dispersarse libremente como granos por el aire, además de favorecer el desarrollo de enfermedades y hongos.

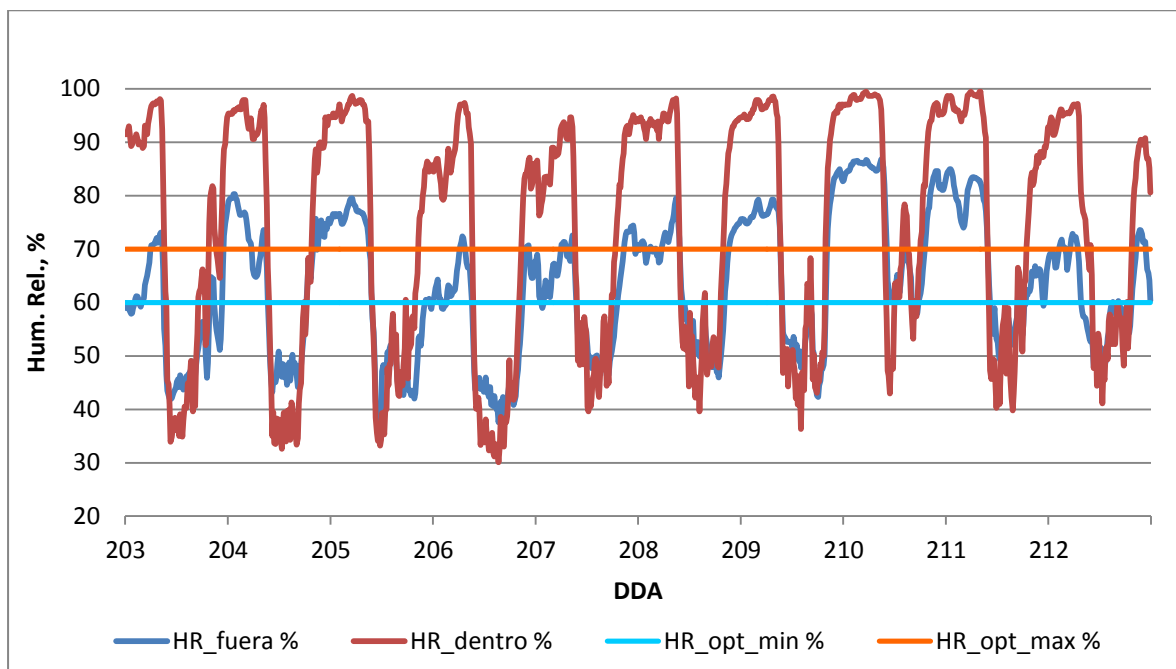


Figura 4. Humedad relativa medida dentro y fuera del invernadero, 22-31 Julio 2011

Como apoyo para poder calcular el requerimiento de riego afuera del invernadero, se midió la precipitación (Figura 5). La precipitación total observada de 22-31 de julio 2011 fue de 31.7 mm; para todo el mes de julio fue de 106 mm y para agosto 47 mm. La precipitación efectiva calculada para 22-31 de julio 2011 fue de 31.2 mm (usando el método del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos de América; Figura 8).

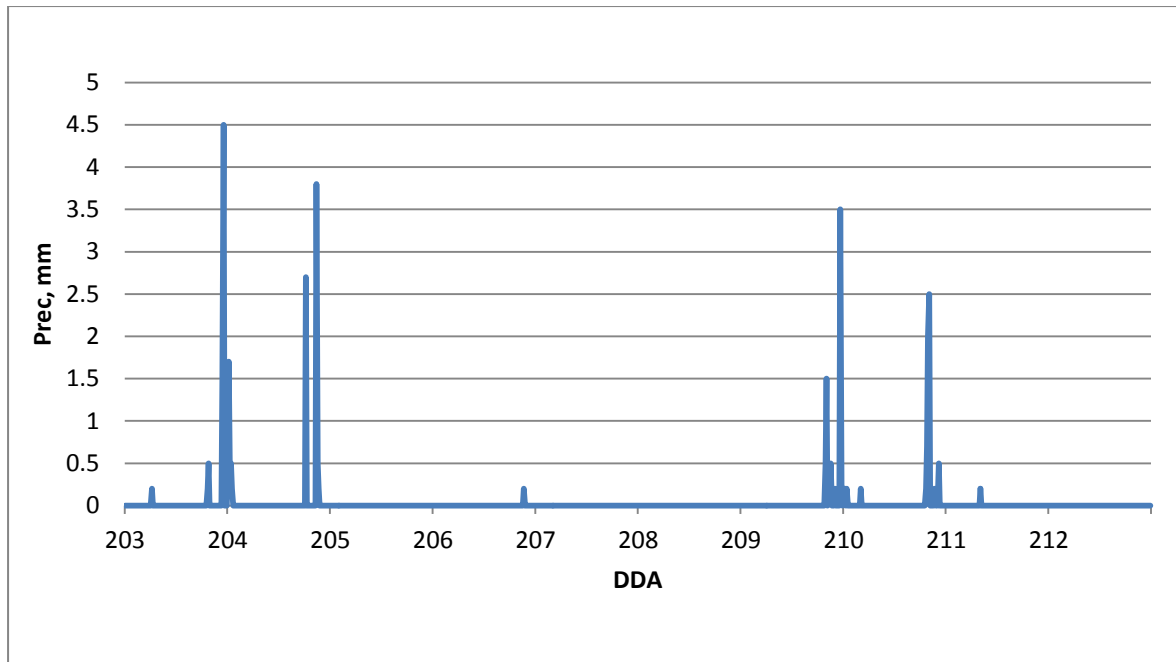


Figura 5. Precipitación medida fuera del invernadero, 22-31 Julio 2011

La evapotranspiración de referencia (ET_o) calculada en base de los datos diarios de radiación solar, temperatura del aire, humedad relativa y velocidad del viento, para condiciones afuera del invernadero resultó en promedio 0.9 mm o 25.8% más alto que la ET_o dentro del invernadero para el periodo de 22-31 julio 2011 (Figura 6). Esta diferencia se debe en gran parte a la radiación solar reducida dentro del invernadero, combinado con el efecto de la humedad relativa y temperatura más alta y la velocidad del viento prácticamente nula, ya que hay muy poco movimiento del aire dentro del invernadero que carece de un sistema de ventilación mecánica.

La evapotranspiración real (ET_r) dentro y fuera del invernadero se calculó multiplicando la ET_o diaria por un coeficiente de cultivo de 1.15 para jitomate en etapa media de desarrollo (Figura 7). Similarmente al comportamiento de la ET_o, se observa una ET_r más alta fuera que dentro del invernadero, con promedios de 4.0 mm y 2.9 mm fuera y dentro del invernadero, respectivamente (diferencia de 26.8%) para el periodo 22-31 de julio 2011.

El requerimiento de riego (RR) fuera y dentro del invernadero se contrasta en Figura 8. Es importante observar que para los días cuando se presentaron lluvias significativas, el RR fuera del invernadero se redujo prácticamente a cero, mientras que dentro del invernadero, donde el cultivo no pudo aprovechar la lluvia caída afuera, se necesitaba aplicar riegos auxiliares. Por otro lado, en días sin lluvias apreciables, el RR fuera del invernadero fue significativamente más alto que adentro del invernadero, con un RR en promedio 3.0 mm más alto dentro que fuera del invernadero durante días lluviosos, y 1.0 mm (24 %) más bajo durante días secos.

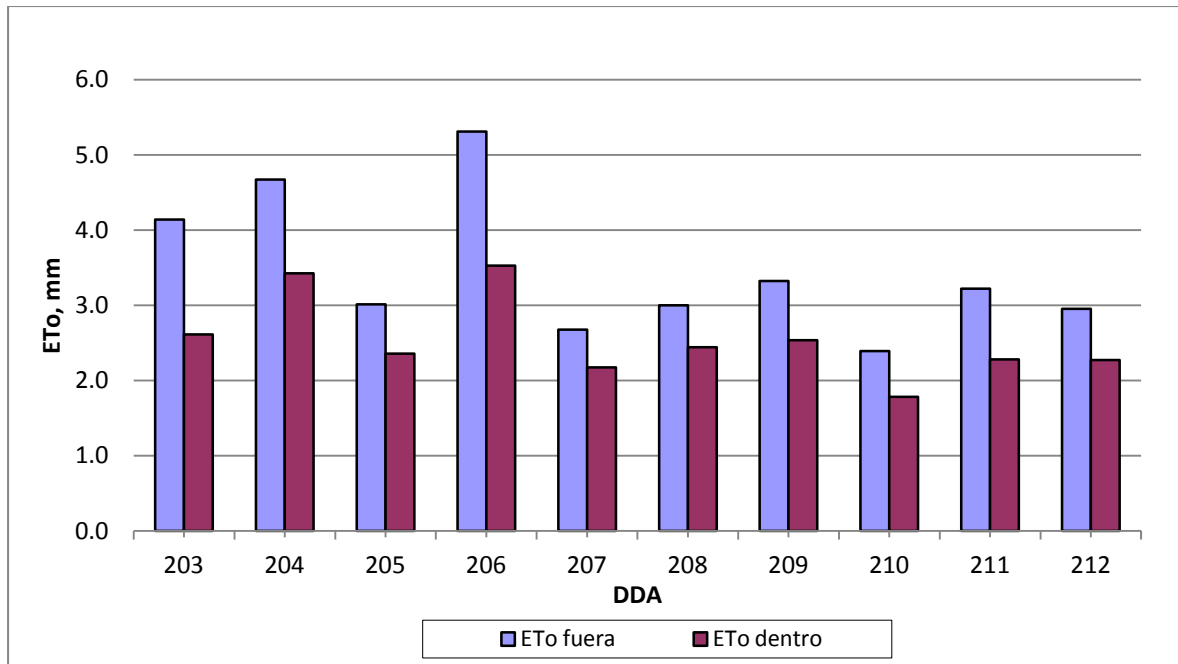


Figura 6. Evapotranspiración de referencia dentro y fuera del invernadero, 22-31 Julio 2011

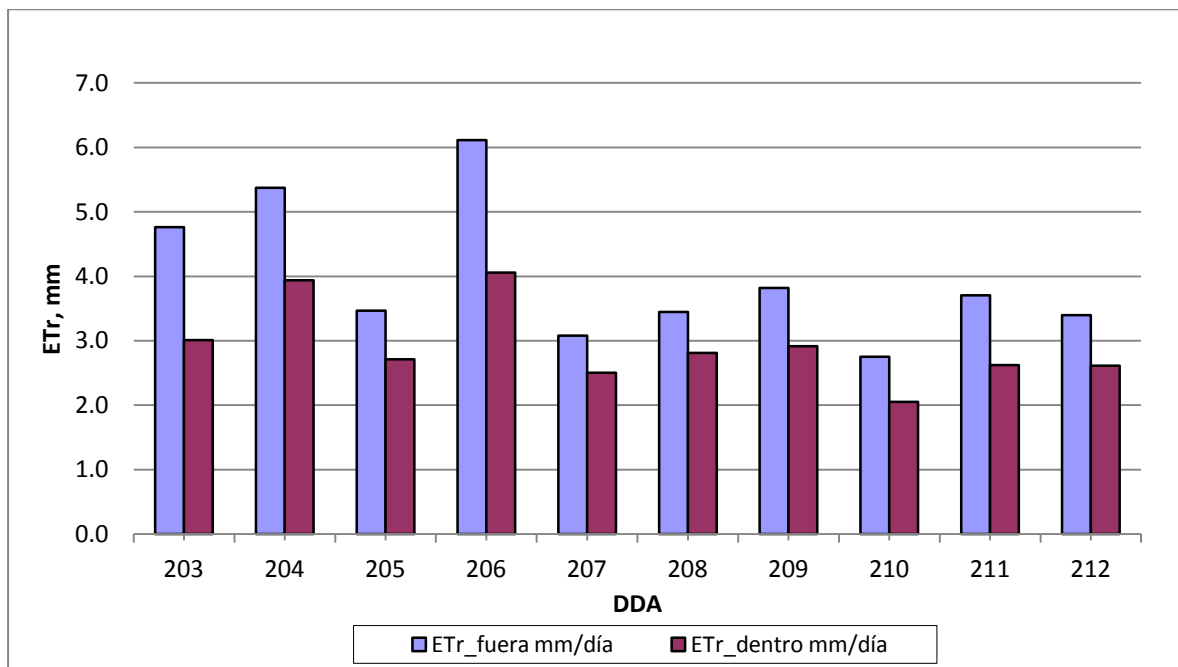


Figura 7. Evapotranspiración real para jitomate, dentro y fuera del invernadero, 22-31 Julio 2011

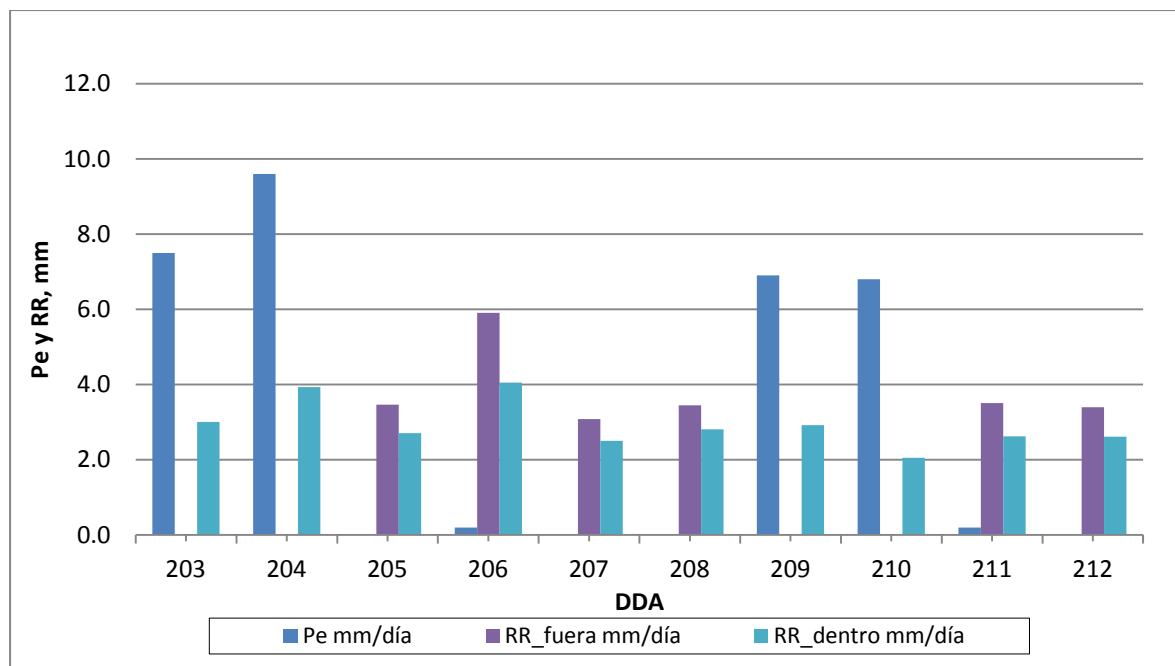


Figura 8. Precipitación efectiva y requerimiento de riego para jitomate, dentro y fuera del invernadero, 22-31 Julio 2011

Conclusiones y Recomendaciones

Durante el estudio de campo, se contrastaron las condiciones climáticas dentro y fuera del invernadero. Se observaron temperaturas máximas significativamente más altas durante el día dentro que fuera del invernadero, y una humedad relativa máxima mucho más elevada durante la noche dentro que fuera del invernadero, ambas condiciones perjudiciales para el desarrollo del cultivo de jitomate. La demanda hídrica del cultivo fue generalmente más alta para condiciones fuera que dentro del invernadero debido al techo de plástico reduciendo la radiación solar recibida dentro del invernadero en un 30%. Por otro lado, el efecto en el requerimiento de riego fue variable, con valores más altos dentro que fuera del invernadero en días lluviosos, ya que las lluvias frecuentemente superaron la evapotranspiración real del cultivo reduciendo el requerimiento de riego afuera del invernadero esencialmente a cero. Por otro lado, el requerimiento de riego fue más bajo dentro que fuera del invernadero durante días secos debido en gran parte a la reducida radiación solar.

Basado en las observaciones de temperatura y humedad relativa, se recomienda estudiar la posibilidad de instalar un sistema de ventilación mecánica para mejorar el ambiente dentro del invernadero, creando condiciones más adecuadas para el desarrollo del cultivo lo que se espera resultará en una mejor calidad y rendimiento del fruto.

Bibliografía

Allen, R.G., L.S. Pereira, L.S., Raes, D., y Smith, M. (1998). *Crop Evapotranspiration Guidelines for Computing Crop Water Requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper 56.

Baille M., Baille A. and Delmoa-D. (1994). Microclimate and transpiration of greenhouse rose crops. Agric. For. Meteorology., 71 : 83-97.

Jett, L.,. High Tunnel Temperature Management. Publicado en el sitio internet del West Virginia University Extension Service:
http://anr.ext.wvu.edu/commercial_horticulture/high_tunnels/high_tunnel_temperature_management

Jolliet O. and Bailey B.J. (1992). The effect of climate on tomato transpiration in greenhouses: Measurements and models comparison. Agric. For. Meteorology, 58: 43-63.

Mississippi State University Extension Service. Greenhouse tomato handbook. Publicado en el sitio de internet: <http://msucare.com/pubs/publications/p1828.pdf>

Soriano T., J. Hernández J., Morales M.I., Escobar I., y Castilla N. (2002). Radiation transmission differences in east-west oriented plastic greenhouses. ISHS Acta Horticulturae 633: XXVI International Horticultural Congress: Protected Cultivation 2002

Nombre como debe aparecer en el Diploma: Helene Emmi Karin Unland Weiss