

EVALUACIÓN DE DOS PANTALLAS TERMO-REFLECTORAS SOBRE EL MICROCLIMA DEL CULTIVO DE TOMATE (*Solanum lycopersicum* Mill) EN SISTEMA HIDROPÓNICO PROTEGIDO

Grajalés-Sarabia, Fátima²; Munguía-López, Juan P.^{1*}; Vázquez-Lee, Jairo¹; Arellano-García, Marco A.¹

¹Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA), Departamento de Plásticos en la Agricultura.
Blvd. Enrique Reyna N° 140, Saltillo, Coahuila, México.

²Egresado del programa de Maestría en Ciencias en Agroplasticultura, CIQA.

*Correo de contacto: juan.munguia@ciqa.edu.mx

RESUMEN

Se realizó un análisis de la fenología, fisiología, productividad, y microclima del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* Mill), con dos híbridos (Gabriela y Gironda) que se caracterizan por ser de crecimiento indeterminado tipo bola, con una alta capacidad de producción en invernadero en el ciclo de otoño-invierno. El experimento se realizó en un invernadero de alta tecnología del Centro de Investigación de Química Aplicada (CIQA) ubicado en Saltillo, Coahuila, México, en los meses de agosto de 2013 a marzo de 2014. El diseño del experimento fue un "Split plot" con dos factores: A).- pantallas termo-reflectoras (a₁- termo-dinámica más Aluminet y a₂- termo-dinámica) y B).- híbridos (b₁-Gabriela y b₂- Gironda). Teniendo un total de cuatro tratamientos con cuatro repeticiones dando como resultado 16 unidades experimentales. Se midió: humedad relativa, temperatura del ambiente, radiación fotosintéticamente activa, radiación total solar, índice de área foliar, actividad fotosintética, y el rendimiento total. De acuerdo al análisis de varianza los mejores tratamientos con relación a los dos factores fueron el tratamiento T2 (a₁b₂), y el T4 (a₂b₂), ya que estos tratamientos tuvieron los mayores rendimientos y presentaron estadísticamente diferencia significativa en la mayoría de las variables estudiadas. Las pantallas termo-reflectoras tuvieron un efecto positivo sobre la fenología, la fisiología, el rendimiento total, y mejoraron el microclima del cultivo de tomate bajo condiciones de hidroponía e invernadero.

Palabras clave: fotosíntesis, híbridos de tomate, radiación PAR, radiación solar, termo-dinámica.

INTRODUCCIÓN

La alta demanda de recursos alimenticios ha contribuido a que los agricultores busquen nuevas tecnologías de producción, que les permitan tener mayor cantidad y calidad de productos en cualquier región y durante todo el año, siendo los riegos meteorológicos su principal preocupación, obligando al agricultor a optar por la tecnología de cultivos protegidos para disminuir dichos riegos y aumentar la rentabilidad de sus cultivos. La producciones en invernadero son principalmente de hortalizas como el tomate, que obtiene mayores rendimientos, calidad y precocidad de los frutos que es reflejado directamente en la rentabilidad del cultivo (Adlercreutz, *et al.*, 2014).

La hidroponía es otra tecnología que a favorecido al agricultor a obtener producciones intensivas de hortalizas, ayudando a reducir los factores limitantes de crecimiento vegetal (Jensen, 2001). La hidroponía es una técnica

de cultivo que ocupa sustratos y solución nutritiva para el soporte de las plantas y con esto ayuda a que el rendimiento de los cultivos aumente hasta un 1000% por unidad de superficie con productos de alta calidad (González, 2006).

Los cultivos hortícolas como el tomate producidos con manejo hidropónico y bajo invernaderos han dado importantes resultados económicos para el agricultor, ya que ha solucionado problemas agronómicos y microclimáticos en los ciclos de cultivo, sin embargo se siguen buscando tecnologías para optimizar las condiciones microclimáticas de los cultivos y es por ello que surgen la pantallas termo-reflectoras como una nueva técnica que controla la temperatura, radiación y la humedad relativa de ambiente dentro de los invernaderos (Valera *et al.*, 2001) y disminuyen el consumo de energía en invierno (Anglés, 2001).

Las pantallas son parte integral de la agricultura protegida, en la actualidad el país

de Israel es pionero de esta tecnología, (Möller y Assouline, 2007), pero a pesar de que cada vez hay mas países utilizando dichas pantallas, relativamente existe muy poca información disponible acerca de sus efectos sobre las condiciones climáticas. Por tanto, es de alta prioridad obtener conocimiento para expandir la base de datos sobre el microclima de los cultivos, modificados por pantallas termo-reflectoras. El objetivo de este estudio fue evaluar los efectos de dos pantallas termo-reflectoras en un invernadero de alta tecnología, en el desarrollo fenológico y fisiológico, productividad y en los parámetros microclimáticos, del cultivo de tomate en un sistema hidropónico.

MATERIALES Y MÉTODOS

El invernadero donde se ubicó el experimento del presente trabajo se localiza en el Campo Experimental del Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA), ubicado al noreste de la ciudad de Saltillo, Coahuila, México: 25° 27' 37.52" de Latitud Norte; 100° 58' 08.23" de Longitud Oeste, a una altura sobre el nivel del mar de 1502 m, la región cuenta con clima seco estepario.

Se utilizaron dos híbridos de tomate durante el experimento; Gabriela y Girona, que se caracterizan por ser de crecimiento indeterminado, tipo bola con alta capacidad de producción en invernadero en el ciclo de otoño-invierno.

El invernadero donde se realizó el experimento es de alta tecnología con una superficie de 641.30 m² de estructura clásica con ventanas cenitales tipo mariposa, cortinas perimetrales motorizadas, cubierta de polietileno difuso (180 micras) y un sistema de control de clima que incluye: sistema de calefacción por aire, sistema de enfriamiento (pared húmeda y cuatro extractores), pantalla termodinámica motorizada, pantalla termo-reflectora fija que cubría solo el 50% de la superficie total (Aluminet) y sistema de recirculación de aire.

El diseño experimental fue un "Split-Plot" (parcelas divididas) que suele nombrarse "diseño factorial anidado", los factores involucrados en el experimento son: pantallas

termo-reflectoras e híbridos (Tabla 1). Teniendo un total de cuatro tratamientos con cuatro repeticiones y 36 plantas por unidad experimental y 144 plantas por tratamiento considerando 144 plantas de borde distribuidas en la parte norte y sur del invernadero. La unidades experimentales consistieron de 6 "bolis" de polietileno tipo taco con dimensiones de 1.0 m x 0.30 m x 0.15 m, que fueron rellenos con 28 L de perlita como sustrato de soporte para la planta.

El trasplante se realizó el día 6 de Agosto del 2013, La densidad de plantación fue de 3.3 plantas por m², con un marco de plantación de 1.8 m entre hileras con doble fila separadas a 0.15 m y 0.33 m entre plantas, teniendo un total de 720 plantas en la superficie útil (216 m²) dentro del invernadero, que se corresponde a 33,000 plantas por hectárea. La solución nutritiva que se utilizó en mE L⁻¹ fue: 12 de N-NO₃, 1.8 de H₂PO₄, 7 de K⁺, 9.5 de Ca⁺² y 4 de Mg⁺².

Tabla 1. Factores involucrados en los tratamientos del trabajo experimental

1º Factor (A)	2º Factor (B)	Tratamiento
Pantalla	Hibrido Girona (b ₁)	T1
Termodinámica + Aluminet (a ₁)	Hibrido Gabriela (b ₂)	T2
Pantalla	Hibrido Girona (b ₁)	T3
Termodinámica (a ₂)	Hibrido Gabriela (b ₂)	T4

Para medir las diferentes variables de evaluación se utilizaron los siguientes equipos: Vaisala (temperatura y humedad del ambiente), quantum marca Apogee modelo SQ-225 (PAR), y piranómetro marca LI-COR modelo LI-200 (Radiación global), LI-COR modelo LI-3200 (área foliar), IRGA de la marca LI-COR modelo LI-6400XT (fotosíntesis), y balanza digital con capacidad de 10kg modelo Navigator XL de Ohaus (Rendimiento). La frecuencia del muestreo de los datos de los

diferentes sensores fue cada 30 s y fueron almacenados en promedios de 30 min en un datalogger modelo CR23X, de la marca Campbell Sciences, Logan Utah. USA. Los sensores antes mencionados se instalaron en la parte central de cada una de las zonas de evaluación, con diferentes pantallas termo-reflectoras (termo-dinámica y termo-dinámica más Aluminet).

Todos los datos resultantes del experimento se analizaron mediante el programa estadístico SPSS V. 21. (Statistical Package for the Social Sciences), con un análisis lineal general multivariante y usando la prueba de diferencia mínima significativa (DMS) $P \leq 0.05$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados demuestran que las pantallas termo-reflectoras modificaron la calidad y cantidad de radiación solar percibida por las plantas de tomate, debido al tipo de material y porcentaje de sombreo (Ayala, 2011).

La pantalla termodinámica más aluminet tuvo efecto sobre la temperatura del ambiente con una media de 16 °C (Max. 28 °C y Min. 10 °C) y fue menor que en el ambiente bajo la pantalla termo-dinámica con una media de 17 °C (Max. 30 °C y 12 °C Min.) durante todo el ciclo de cultivo como lo indica la figura 1, y esto no represento diferencia significativa estadísticamente entre los tratamientos. Las plantas de los tratamientos T3 y T4 no manifestaron síntomas de estrés térmico en las horas de mayor temperatura durante el día.

La humedad relativa (HR) en ambos ambientes fue muy similar, es decir que en los tratamientos con pantalla termodinámica más aluminet se obtuvo una media de 69% de HR y en los tratamientos con pantalla termodinámica se obtuvo una media de 65% de HR, y tampoco existieron diferencias significativas entre tratamientos. Esto se debe a que el invernadero cuenta con sistema de enfriamiento automatizado por lo que se controlaron adecuadamente estos factores climáticos.

Callegón, *et al.*, (2009) encontraron resultados similares al utilizar mallas aluminet

y plásticos encalado, registraron una temperatura menor en mallas aluminet que en el otro factor pero la humedad relativa fue mayor en el tratamiento de plástico encalado que bajo la malla aluminet y concluyen que se debió a que no tuvieron una buena ventilación en los invernaderos.

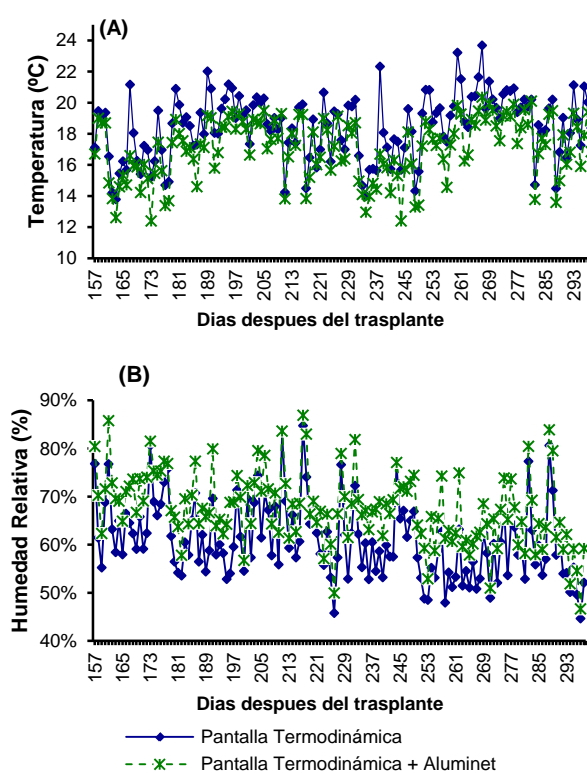


Figura 1. Comportamiento de la temperatura (A) y humedad relativa (B) en los ambientes de cada una de las pantallas termo-reflectoras donde se estableció el cultivo de tomate hidropónico en un invernadero de alta tecnología en la época de otoño-invierno de 2013-2014.

La radiación solar es la fuente de energía para el crecimiento y desarrollo de las plantas y principal fuente de productividad. Las características ópticas de un invernadero modifica significativamente la calidad de la radiación, afectando a los cultivos principalmente en cuanto a la eficiencia del uso de la radiación y en la fotomorfogénesis (Baille, 1998).

En el presente trabajo la radiación solar (Figura 2) y la radiación fotosintéticamente activa (Figura 3) se vio modificada por las diferentes pantallas termo-reflectoras, favoreciendo el desarrollo del cultivo de tomate hidropónico, resultando el tratamiento T2 y T4 mayormente afectado por ambas pantallas según el análisis de varianza, teniendo un efecto positivo con diferencias estadísticamente significativa.

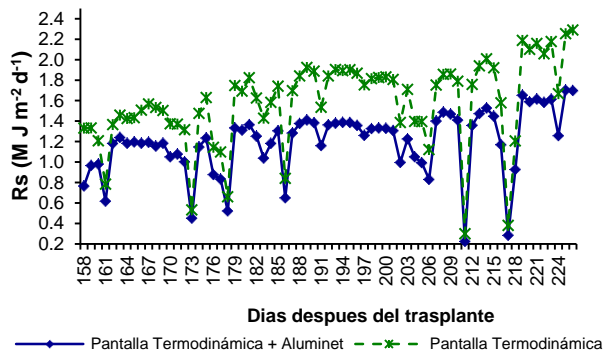


Figura 2. Comportamiento de la radiación solar integrada diaria durante el ciclo de evaluación del cultivo de tomate hidropónico protegido.

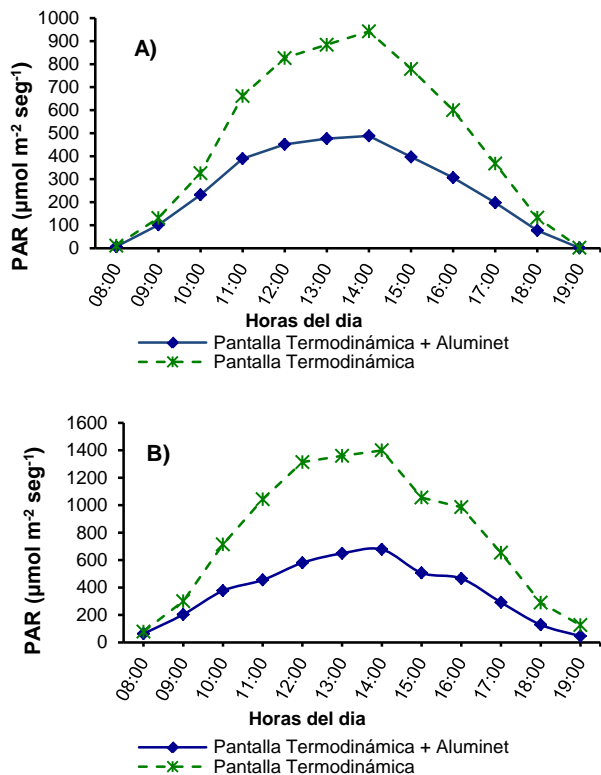


Figure 3. Comportamiento de la radiación fotosintéticamente activa instantánea por día (A.-15 de enero y B.-15 de marzo), durante el ciclo de evaluación del cultivo de tomate.

El crecimiento de las plantas se logra a través de la división celular, alargamiento y diferenciación, que implica eventos fisiológicos, genéticos, ecológicos, morfológicos y micro-meteorológicos (Vázquez, 2012), y de acuerdo a los resultados obtenidos estos fueron modificados por las pantallas termo-reflectoras con la alteración de la cantidad y calidad de la radiación solar, régimen térmico y variabilidad del Déficit de Presión de Vapor (DPV), obteniendo así un efecto favorable sobre las plantas de tomate con manejo hidropónico.

De acuerdo a el análisis estadístico las variables fenométricas de la planta de tomate como el índice de área foliar (IAF) se observa y comprueba que las pantallas termo-reflectoras tuvieron un efecto positivo sobre dicha variable, ya que los tratamientos presentaron diferencias significativas (Tabla 2).

Tabla 2. Variable Índice de Área Foliar (IAF), del cultivo de tomate hidropónico con el efecto de pantalla termo-reflectoras.

Factores	Niveles	IAF (cm ² cm ⁻²)
Pantallas(A)	Termodinámica + Aluminet (a ₁)	5.466 ^a
	Termodinámica (a ₂)	5.020 ^b
Híbridos (B)	Gironda (b ₁)	4.951 ^b
	Gabriela (b ₂)	5.559 ^a
T1	a ₁ b ₁	4.976 ^c
T2	a ₁ b ₂	5.957 ^a
T3	a ₂ b ₁	4.880 ^c
T4	a ₂ b ₂	5.161 ^b

El IAF es influenciado por la radiación y se define como la relación entre el área foliar y la superficie del suelo ocupada por la planta.

En estudios realizados en Colombia evaluaron el crecimiento del cultivo de tomate y observaron que los valores más altos de IAF se dieron a partir de 105 días después de trasplante (DDT) y disminuyeron a partir de los 120 DDT, siendo los tratamiento con mayor índice de área foliar los que tenían mayor competencia de luz pues las plantas

aprovecharon más la radiación presente, lo que se manifiesta fisiológicamente en una mayor tasa de translocación de fotoasimilados hacia los puntos de demanda que son los frutos de tomate (Barraza, *et al.*, 2004).

En el Presente trabajo se observa que las pantallas termo-reflectoras tuvieron un gran efecto sobre los híbridos evaluados en el índice de área foliar "IAF" ya que modificaron las cantidad de luz disponible para la planta, acercando esta cantidad a la más óptima. El tratamiento T2 (a_1b_2)= 5.95 tuvo la mayor cantidad de área foliar por lo que sus niveles de IAF fueron los más altos de todos lo tratamiento, pero el T4 (a_2b_2)= 5.91 se acercó a los más óptimos sin rebasar dicho requerimiento teniendo los rendimientos más altos.

La actividad fotosintética del cultivo de tomate hidropónico fue medida durante todo un día en los diferentes tratamientos, tomando datos en la parte superior e inferior de la planta y dando como resultado que la parte superior dio valores más altos como se esperaba y por lo contrario la parte inferior dio datos más bajos. Las pantallas termo-reflectoras tuvieron un efecto positivo ya que encontraron diferencias significativas en los diferentes tratamientos al igual que en las diferentes posiciones de muestreo (parte superior e inferior). Los tratamientos influenciados por la pantalla termo-dinámica tuvieron los valores más altos de actividad fotosintética en la hoja; T3 ($25.36 \mu\text{mol CO}_2 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$) y T4 ($23.04 \mu\text{mol CO}_2 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$); (Figura 4).

El sombreado afecta la fotosíntesis, ya que se presenta menor tasa de asimilación de bióxido de carbono y mayor resistencia estomática al flujo de bióxido de carbono lo que sugiere que a mayor sombreado se reduce la tasa de fotosíntesis en la hoja, y esto fue observado en la investigación que se realizó en un cultivo de maíz con la finalidad de evaluar la reflectividad y absorbancia de radiación (Zermeño, *et al.*, 2005)

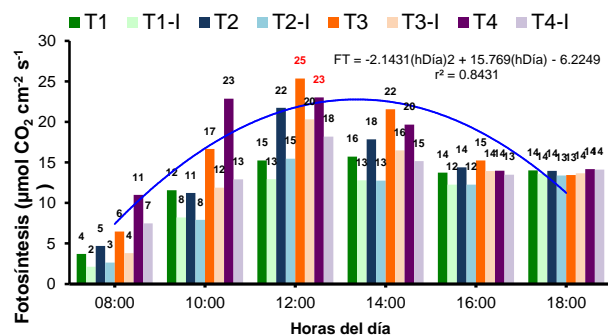


Figura 4. Comparación de la evolución de la actividad fotosintética en la parte superior (T1, T2, T3, T4) e inferior (T1-I, T2-I, T3-I, T4-I) de la planta, en el cultivo de tomate hidropónico bajo invernadero durante todo un día de invierno, influenciada por las pantallas termo-reflectoras. Los valores ilustrados fueron tomados el día 10 de febrero de 2014.

Los rendimientos del cultivo se vieron favorecidos por los tratamientos ya que modificaron la temperatura, humedad relativa, radiación fotosintética y radiación solar, por medio de las pantallas termo-reflectoras. Dichas pantallas adecuan las necesidades del cultivo para dar las condiciones óptimas dentro del invernadero, lo que hace que los rendimientos sean estadísticamente diferentes. Estos resultados coinciden con los de (Fallik, *et al.*, 2009), quienes encontraron que el pimiento morrón cultivado en una región árida bajo mallas sombra de color rojo y amarillo, tuvo un rendimiento de fruta con calidad de exportación significativamente mayor, en comparación con la malla sombra negra del mismo nivel de sombreado (Shahak, *et al.*, 2008).

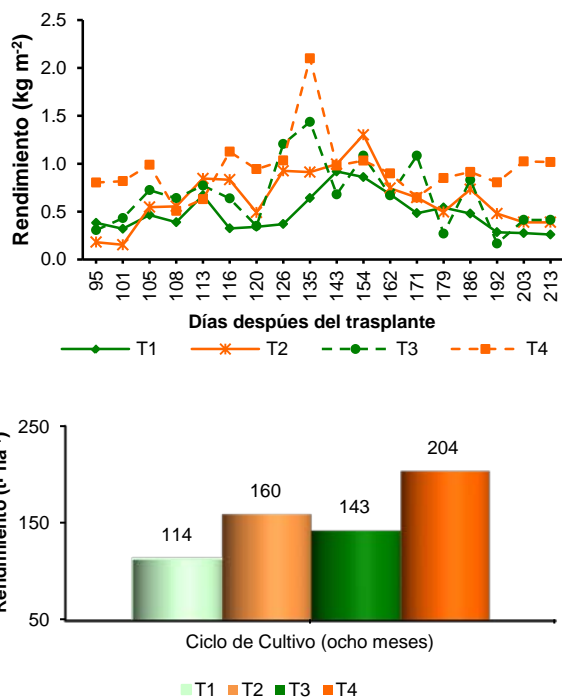


Figura 5. Rendimientos del cultivo de tomate hidropónico bajo invernadero. A) Rendimientos por corte B) rendimiento total, durante el ciclo de 8 meses.

Los tratamientos T2 y T4 que corresponden a los híbridos de Gabriela fueron los que tuvieron mayor cantidad de producción de frutos por lo que sus rendimientos por metro cuadrado superan con 10.61 kg·m⁻² a los rendimientos totales del híbrido Girona. La pantalla termo-dinámica fue la más apta para la época de otoño-invierno ya que favoreció al híbrido Gabriela (T4) para obtener el mayor rendimiento de todos los tratamiento siendo de 204.05 t·ha⁻¹ en un ciclo de cultivo de ocho meses en época de otoño-invierno (Figura 5).

Los rendimientos de tomate fueron afectados por las diferentes cantidades y calidades de radiación que fueron modificadas por diferentes mallas, con la finalidad de alcanzar valores altos en los rendimientos totales del cultivo, para comercialización nacional y de exportación (Ayala, *et al.*, 2011).

CONCLUSIÓN

Saltillo, Coahuila, México

Las pantallas termo-reflectoras tuvieron un efecto positivo sobre la fisiología y fenometría del cultivo de tomate hidropónico y el microclima, favoreciendo sus necesidades microclimáticas. Siendo la pantalla termodinámica automatizada la más benéfica para la temporada de otoño-invierno en el cultivo de tomate y particularmente en el híbrido Gabriela, debido a que su automatización favoreció a tener mayor control en la cantidad de radiación solar y PAR, y por consiguiente ayudo a tener mayores rendimientos, y frutos de mayor calidad.

AGRADECIMIENTO

Al CONACYT y al departamento de Agropásticos del Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA) por las facilidades otorgadas para el desarrollo de la presente investigación.

LITERATURA CITADA

- Adlercreutz, E., Huarte, R. D., López, C., Manzo, E., y Szczesny, A. (2014). Producción hortícola bajo cubierta (1ª Edición). INTA, Ed. A. Szczesny, Trans. Buenos Aires, Buenos Aires. pp. 978-987.
- Anglés, M. (2001). Control climático y ciclo de cultivo. Horticultura 19, pp. 28-34.
- Ayala, F., Zatarain, D. M., Valenzuela, M., Partida, L., Velázquez, T. J., Díaz, T., y Osuna, J. A. (2011). Crecimiento y rendimiento de tomate en respuesta a radiación solar transmitida por mallas sombras. C. Revistas Científicas de América Latina, Terra Latinoamericana. Vol. 29. Nº 4. Chapingo, México. pp. 403-410.
- Baille, A. (1998). Energy Cycle. In: "Greenhouse Ecosystems". pp. 265-268.
- Barraza, F., Fischer, G., y Cardona, C. (2004). Estudio del proceso de crecimiento del cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) en el Valle de Sinú medio, Colombia. Agronomía Colombiana. Universidad Nacional de Colombia, Colombia. pp. 81-90.

28, 29 y 30 de Octubre



- Callejón, A. J., Manzano, F., Díaz, M., Carreño, A., y Pérez, A. (2009). Effect of shading with aluminised screens on fruit production and quality in tomato (*solanum lycopersicum* L.) under greenhouse conditions. Spanish Journal of Agricultura Research. Vol. 7 (1), pp. 41-49.
- Fallik, E., Alkalai, S., Parselan, Y., Aharon, Z., Elmann, A., Offir, Y., Matan, H., Yeheckel, H., Rather, K., Zur, N., Shahak, Y. (2009). Can colored shade nets maintain sweet pepper quality during storage and marketing. Acta Horti 830, pp. 37-44.
- González, N. (2006). Avanzan los sistemas hidropónicos en México. (Ed. C.V. de S. A.) D.F., México: Hortalizas, flores y frutos. pp. 16.
- Jensen, M. (2001). Producción Hidropónica en Invernadero. Boletín informativo N° 12. Universidad Lanolina. Lima, Perú.
- Möller, M.; Assouline, S. (2007). Effects of a shading screen on microclimate and crop water requirements. *Irrigation Science*, 25 (2), pp. 171-181
- Shahak, Y., Gay, E., y Offir, Y., (2008). Photosensitive shade netting integrated with greenhouse technologies for improved performance of vegetable and ornamental crops. Acta Horti, Vol. 797, pp. 75-80.
- Valera, D., F. Molina y J. Gil (2001). Las mallas como técnicas de control climático en invernaderos. Vida Rural, Vol. 8. Madrid, España. pp. 50-52.
- Vázquez, J. (2012). Análisis del índice grado día y del índice de estrés hídrico en el cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero e hidroponía. Tesis de Maestría. CIQA. Saltillo, Coahuila, México. pp. 23-34.
- Zermeño, A., Montemayor, J. A., Munguía, J., Ibarra, L., y Cadena, M. (2005). Radiation reflectance and absorptivity in three plant densities and its relation to crop yield. Agrociencia. Coahuila, México. pp. 285-292.