

# **TRABAJO FIN DE MÁSTER**

## **MÁSTER PRODUCCIÓN VEGETAL EN CULTIVOS PROTEGIDOS (ITINERARIO INVESTIGACIÓN)**

**AUTOR: DAVID ERIK MECA ABAD**

**TITULO: EVALUACIÓN DE UN PLÁSTICO  
FOTOSELECIVO NIR COMO MATERIAL DE CUBIERTA  
DE INVERNADERO**

**CONVOCATORIA DE DEFENSA: JUNIO DE 2012.**

**DIRECTOR DEL TRABAJO: DR. JUAN CARLOS LÓPEZ  
HERNÁNDEZ**

# **Evaluación de un plástico fotoselectivo NIR como material de cubierta de invernadero**

D. Meca

Máster en Producción Vegetal en Cultivos Protegidos

*Universidad de Almería, Carretera del mamí sn, La Cañada de San Urbano, Almería, España*

**Palabras clave: Refrigeración, blanqueo, temperatura, radiación, producción.**

## **RESUMEN:**

**La refrigeración del invernadero en regiones de clima árido es esencial para proveer a las plantas de un ambiente agradable donde crecer. La mayoría de invernaderos empleados en éstas zonas son estructuras sencillas y de bajo coste, con un limitado control climático, recurriéndose al sombreado de la cubierta mediante el blanqueo de la misma reduciendo así la cantidad de radiación que penetra en el interior del invernadero, siendo la combinación ventilación natural-blanqueo del plástico la más empleada para refrigerar. Pero con la técnica del blanqueo además de disminuir la transmisión NIR también se reduce la transmisión de radiación PAR (400-700 nm), precisamente la radiación que las plantas necesitan para la fotosíntesis y que debiera siempre mantenerse lo más alta posible. El empleo de cubiertas plásticas que filtren fuera del invernadero la radiación infrarroja cercana (NIR) puede ser una alternativa. Evaluar el clima y respuesta productiva de un cultivo de tomate bajo dos materiales de cubierta: film absorbente de NIR y film control fue el objetivo principal de un trabajo cuyos resultados se presentan en este documento. El film NIR ensayado no redujo la temperatura del aire frente al plástico testigo, provocando una reducción en PAR próxima al 15% lo que condujo a una menor producción de tomate, similar a las pérdidas de radiación PAR.**

## **INTRODUCCIÓN**

Las características climáticas de los países de la zona mediterránea (altos valores de radiación solar y elevadas temperaturas) provocan que desde principios de la primavera hasta finales de otoño se produzcan temperaturas excesivas que afectan al rendimiento y a la calidad de los cultivos protegidos (Kittas et al., 1996). La producción hortícola en Almería bajo invernadero se ha caracterizado por el empleo de estructuras sencillas y de bajo coste, con un limitado control climático (Lorenzo, 1998). En estos invernaderos el control climático se reduce a la ventilación natural del invernadero para controlar las condiciones extremas de humedad o temperatura (Abreu y Meneses, 1994; Abreu et al., 1994). Pero la ventilación natural no es suficiente para extraer el exceso de energía durante los días soleados de verano (Baille, 1999).

Es por esto por lo que los agricultores recurren al sombreado mediante el blanqueo de la cubierta, reduciendo así la cantidad de radiación que penetra en el interior del invernadero, siendo la combinación ventilación natural-blanqueo del plástico la más empleada para refrigerar.

Sin embargo, el blanqueo presenta una serie de inconvenientes como son la permanencia en el invernadero durante días nublados, la falta de homogeneidad en su aplicación que hace que lleguen cantidades distintas de luz hacia las plantas, la mano de obra necesaria en las operaciones de aplicación y, sobre todo de limpieza, o la falta de selectividad que hace transmitir aproximadamente, el mismo porcentaje de radiación fotosintéticamente activa (PAR) que de infrarrojo cercano, que es la que transmite principalmente calor (Montero et al., 1998). Por este motivo, otros sistemas de refrigeración, como pueden ser la ventilación forzada, la disminución de la radiación incidente mediante el uso de mallas de sombreo móviles, la refrigeración por evaporación de agua (cooling systems, nebulización, etc) o el empleo de materiales plásticos foselectivos de la radiación infrarroja de onda corta pueden ser alternativas más eficientes para el control de altas temperaturas.

En efecto, una alternativa al encalado o al empleo de mallas de sombreo para evitar el calentamiento excesivo del invernadero puede ser la formulación de nuevos materiales plásticos con aditivos que filtran, mediante reflexión o absorción la radiación infrarroja cercana (responsable del aumento de la temperatura del aire, ya que es absorbida por las plantas y los elementos estructurales del invernadero, provocando el calentamiento del mismo), manteniendo el invernadero a una buena temperatura sin reducir excesivamente la radiación fotosintéticamente activa (PAR). Estos filmes se conocen normalmente como “antitérmicos” o “escudos térmicos estáticos”. También se ha desarrollado un blanqueo NIR (von Elsner y Xie, 2003; Blanchard y Runkle, 2010) que permite la regulación de temperatura durante el día, así como se están estudiando nuevos desarrollos en pantallas móviles (Gálvez et al., 2007).

La radiación NIR puede ser reducida dentro del invernadero a través de la superficie de cubierta mediante absorción, reflexión e interferencia (Hoffmann y Waaijenberger, 2002). Mediante reflexión e interferencia, la energía innecesaria es reflejada fuera del invernadero, mientras que mediante absorción el material de cubierta solo podrá emitir fuera del invernadero una parte de la energía mientras que otra parte de la misma será emitida dentro del invernadero, contribuyendo al calentamiento del mismo. Según Hemming et al., 2006 c los materiales que reflejan la radiación NIR son más eficientes que los que la absorben.

Hemming et al. (2006 c) concluyen en un trabajo realizado en Holanda dónde investigaron el potencial de varios métodos para filtrar la radiación NIR (material de cubierta antitérmico, pantalla de sombreo antitérmica móvil exterior o interior, líquido blanqueante) para su uso en agricultura que el material óptimo que filtre la radiación NIR aún no existe ya que todavía reducen bastante la proporción de radiación PAR, aunque existe bastante material para realizar investigaciones futuras.

La características ideales que deberían de reunir los films que reflejan radiación NIR son, entre otras: alta reflexión de la radiación NIR y transmisividad a la PAR, efecto de difusión que mitigue la radiación directa, resistencia a la acumulación de polvo, con buenas propiedades mecánicas, elevada durabilidad y precio asequible.

En nuestras latitudes no existe mucha información sobre este tipo de materiales, aunque su uso se está empezando a generalizar en las regiones tropicales y subdesérticas, donde los cultivos están expuestos a temperaturas excesivas durante todo el ciclo productivo, siendo una de las líneas futuras de investigación a desarrollar en refrigeración de invernaderos.

Algunos problemas que pueden plantear este tipo de materiales es que al ser consecutivos los espectros NIR, PAR al intentar reducir el primero se afecte al segundo,

con lo que se pueden producir unas condiciones ambientales perjudiciales para el crecimiento de las plantas.

Evaluar el clima y respuesta productiva de un cultivo de tomate (ciclo largo) bajo dos materiales de cubierta: film absorbente de NIR (con absorción parcial de la radiación NIR) y film control (material de cubierta estándar en invernaderos de Almería), fue el objetivo principal de un trabajo cuyos resultados se presentan en este documento.

## MATERIAL Y MÉTODOS

El ensayo se llevó a cabo en la Estación Experimental de la Fundación Cajamar, situada en El Ejido (Almería) a 155 m de altitud, 36° 47' 40'' de latitud norte y 2° 43' 10'' de longitud oeste, durante la campaña de otoño 2010-2011.

Se utilizaron dos invernaderos análogos tipo multitúnel de 1.200 m<sup>2</sup>. Cada invernadero compuesto de cuatro módulos de estructura metálica orientados de este a oeste, con una altura en cumbre de 5,40 metros y 3,40 metros en banda. Presentaban ventilación automatizada lateral y cenital en cada módulo, con orientación sur, protegidas con malla anti-insecto de 20 x 10 hilos cm<sup>-2</sup> y porosidad del 32 %.

El cultivo fue tomate en ramo (*Lycopersicon esculentum*) cv. Ventero (De Ruiter) injertado sobre Multifort (De Ruiter) (Figura 9). El trasplante se realizó el 6 de septiembre de 2010, finalizando el ciclo de cultivo el 11 de mayo de 2011, con una duración de 247 días.

El cultivo se desarrolló en sacos de perlita (tercer año de uso), de 40 l de capacidad, textura granulométrica B12 (partículas de 0-5 mm de Ø), dispuestas sobre canaletas de porspan para recogida de drenaje. La orientación de las líneas de cultivo era norte-sur.

Cada compartimento tenía 22 líneas, con 16 sacos de perlita por línea y 2 plantas por saco.

La separación entre líneas de cultivo fue de 1,66 m y de 1,5 m entre centro de sacos de cultivo, lo que determinó una densidad de plantación de 1,6 tallos m<sup>-2</sup>.

Los materiales de cubierta empleados se instalaron durante el mes de agosto. Las características ópticas de ambos materiales, determinadas en la Universidad de Wageningen (Holanda) se muestran en la Figura 2.

Antes del trasplante se blanquearon ambos compartimentos para asegurar la supervivencia de las plántulas en las duras condiciones que en Almería se corresponden con ese mes, utilizando exactamente la misma dosis en ambos invernaderos, lo que supuso que al film absorbente de NIR se le añadió una reflexión NIR extra. El blanqueo se lavó en ambos compartimentos, absorbente NIR y control, los días 5 y 6 de octubre respectivamente.

Se establecieron dos tratamientos, uno por cada invernadero experimental:

T 1: Invernadero con material plástico antitérmico

T 2: Invernadero con material plástico convencional (tricapa).

El clima (apertura y cierre de las ventanas) se gestionó con un controlador de clima en combinación con sensores localizados en el interior y exterior de los invernaderos.

Las determinaciones que se realizaron en ambos invernaderos fueron las siguientes:

**Temperatura ambiental y humedad relativa:** cada compartimento dispone de dos psicrómetros (Pt-100, mod.1.1130; Thies Clima, Göttingen, Germany) que miden la

temperatura del aire (temperaturas de bulbo húmedo y seco) a partir de la que se calcula la humedad.

**Radiación global y PAR:** La radiación global en los invernaderos se cuantificó con piranómetros (Fig. 9) (Kipp&Zonnen, CM6B), mientras que la PAR se midió con un sensor cuántico (LI-190 Biosciencie, Lincoln, NE, USA).

**Radiación neta sobre la cubierta del invernadero.** Se instaló un radiómetro neto (CNR1, Kipp&Zonen, Delft, The Netherlands) en cada uno de los invernaderos, en un punto representativo y a una altura de 50 cm sobre la cubierta. La radiación neta se calculó como la suma de los componentes de onda corta y onda larga. Todos los sensores obtuvieron datos cada intervalo de 2 segundos, promediaron cada 5 min y registraron los datos en dispositivos de almacenamiento de datos (mod. CR1000 y CR3000, Campbell Scientific Ltd., Leicestershire, UK).

**Temperatura de la cubierta** por medio de termopares (Figura 9) las medidas de la temperatura de la cubierta se corrigieron para evitar el problema de radiación directa incidente sobre el sensor, de acuerdo al método recomendado por Abdel-Ghany et al. (2006).

**Los datos de clima exterior** se midieron en una estación meteorológica localizada en las cercanías de dos invernaderos experimentales (temperatura, humedad, radiación, velocidad del viento y dirección).

**Producción:** Para determinar el efecto de los tratamientos sobre la producción se realizó un diseño estadístico unifactorial con dos tratamientos (T1 y T2) y cinco repeticiones por tratamiento, formada por 8 plantas cada repetición.

Se determinó la producción comercial y no comercial para cada recolección. Además se clasificaron los frutos por categorías, utilizándose una báscula de precisión (mod. Metler) (desviación de  $\pm 1$  gr), atendiendo a las normas de calidad para tomates (reglamento CE 2706/2000). También se contabilizaron el número de ramos por planta y el peso medio de ramo comercial.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Clima

La temperatura del aire media en ambos invernaderos fue muy similar a lo largo del ciclo (Tabla 1) con valores medios en 24 h de 17,5 °C y 17,4 °C para el plástico NIR y control respectivamente. Tanto en el periodo medio diurno como nocturno las temperaturas de aire fueron semejantes al igual que para las máximas y mínimas (Tabla 1).

La Figura 3 muestra la temperatura promedio 24 horas en el ciclo de cultivo para los dos tratamientos y el exterior, mostrándose una gran similitud en los valores registrados y superiores a la exterior.

Tanto en el periodo más cálido (primavera) como en el más frío (invierno) las temperaturas fueron semejantes en ambos tratamientos. En el periodo frío se podía esperar valores semejantes de temperatura del aire entre ambos tratamientos debido a que, gran parte del tiempo la consigna de ventilación permanecía superior a la temperatura de los invernaderos. Sin embargo, en el periodo cálido, donde la temperatura de consigna de ventilación era inferior a la del aire del invernadero, durante gran parte del tiempo los invernaderos permanecían con las ventanas abiertas siendo este el periodo más favorable para que se mostraran diferencias entre plásticos, cosa que no ha sucedido.

La radiación neta medida sobre la cubierta del invernadero (Figura 4) fue ligeramente más alta en el caso de la cubierta NIR. Esto puede justificar parcialmente la ausencia de la previsible bajada de temperatura en el tratamiento NIR debido al efecto de absorción NIR (convección de calor desde el plástico al interior del invernadero).

La radiación neta del tratamiento NIR\_film fue mayor (próxima al 10%) frente a la del testigo. La radiación de onda larga emitida por el invernadero con el plástico NIR\_fue mayor frente al control en el periodo diurno. Sin embargo no fue suficiente para producir una menor radiación neta debido a que la componente de la radiación global, procedente del invernadero (reflejada y transmitida desde el invernadero), en el testigo fue superior.

La Figura 5 muestra la temperatura ambiente, la temperatura de cubierta, y los datos de radiación a lo largo de un día del ciclo de cultivo (20/03/2011) en ambos tratamientos. La temperatura ambiente fue similar bajo el plástico NIR y el control. La temperatura de la cubierta fue mayor en el plástico NIR que en el testigo, hasta 10 ° C más alta debido a la mayor absorción del material en el rango NIR.

La radiación solar y NIR fueron más bajas bajo el film NIR, tal y como se podía esperar. Sin embargo también quedó afectada la radiación PAR, que fue también más baja en el tratamiento NIR (15%), un efecto colateral no deseado debido a su probable repercusión negativa en el rendimiento productivo. Con respecto a la radiación de onda larga, el invernadero NIR emitió más, posiblemente por las mayores temperaturas alcanzadas por el material, tal y como se ha discutido anteriormente.

Existe un amplio margen de mejora de las propiedades ópticas y térmicas de los materiales de cubierta para invernadero. Waaijbergen (2006) realizó una revisión de las posibilidades de mejora de materiales plásticos como materiales de cubierta, destacando como los más importantes los que incorporan aditivos que bloquean la radiación NIR.

Hoffmann y Waaijberger (2002) sugieren para regiones subtropicales cubiertas que reflejen NIR pero intercepten la radiación infrarroja lejana (FIR) para prevenir la pérdida de calor por la noche.

Imprón et al. (2007) compararon dos plásticos con concentraciones diferentes de pigmento reflejante de radiación NIR frente a un plástico testigo concluyendo que las modificaciones de las propiedades de los film ensayados no repercutieron significativamente en el clima del invernadero, sugiriendo que el uso de films reflejantes de NIR tendrá más sentido cuanto más se refleje ésta sin perder mucha transmisividad de PAR.

Hemming et al. (2006 c) concluyen en un trabajo realizado en Holanda dónde investigaron el potencial de varios métodos para filtrar la radiación NIR (material de cubierta antitérmico, pantalla de sombreado antitérmica móvil exterior o interior, líquido blanqueante) para su uso en agricultura que el material óptimo que filtre la radiación NIR aún no existe ya que todavía reducen bastante la proporción de radiación PAR, aunque existe bastante material para realizar investigaciones futuras.

La radiación NIR puede ser reducida dentro del invernadero a través de la superficie de cubierta mediante absorción, reflexión e interferencia (Hoffmann y Waaijberger, 2002). Mediante reflexión e interferencia, la energía innecesaria es reflejada fuera del invernadero, mientras que mediante absorción el material de cubierta solo podrá emitir fuera del invernadero una parte de la energía mientras que otra parte de la misma será emitida dentro del invernadero, contribuyendo al calentamiento de la cubierta.

Según Hemming et al., 2006 c los materiales que reflejan la radiación NIR son más eficientes que los que la absorben. Afirman que este tipo de cubiertas deben de ser utilizadas con precaución en invernaderos sin calefacción en determinadas regiones durante el invierno, ya que pueden provocar una pérdida de temperatura, siendo las pantallas de sombreo móviles selectivas una alternativa para el futuro

Samaniego-Cruz et al. (2002) en un trabajo realizado en Méjico con diferentes materiales de cubierta antitérmicos, obtuvieron temperaturas puntuales menores en las horas críticas (13 a 16 h) de hasta 5 y 7 ° C en relación al testigo.

López-Marín et al. (2008) compararon un plástico convencional blanqueado, un plástico testigo sin blanquear y un plástico con pigmentos que reflejan la radiación NIR. Los resultados muestran que bajo el blanqueo y el plástico antitérmico se reduce la transmisión de la radiación fotosintéticamente activa (PAR) un 24% y un 15 % respectivamente, respecto al testigo. Se reduce la transmisión de la radiación NIR entre 21.5 % y 19,2 % con respecto al testigo. Como conclusiones destacables es que ambos plásticos redujeron la temperatura a mediodía entorno a 3 °C y que condujeron a unos niveles productivos y de calidad similares.

Se obtuvieron también resultados positivos en la región de Murcia por García Alonso et al. (2006) con materiales antitérmicos, reduciéndose las temperaturas máximas diurnas dentro del invernadero entorno a 4,5 ° C con respecto a un plástico convencional a un relativo bajo coste, repercutiendo en unos rendimientos superiores con respecto a un material estándar utilizado como testigo.

Hemming et al. (2006 a) ensayaron diferentes materiales plásticos con diferentes pigmentos y a diferentes concentraciones que reflejan la radiación NIR, mostrando una reducción de la misma superior al 25,7 %, mientras que la reducción de PAR fue del 8,7 %.

Además, a lo largo del ensayo se observó como la cara interna del film NIR fue la que menos condensación mostraba temprano por la mañana (Figura 8), lo que podría estar causado por las mayores temperaturas alcanzadas por este plástico. Esto pudo modificar la transmisividad medida en invernadero durante el periodo con condensación a favor del film NIR.

## **Producción**

Las producciones total y comercial se muestran en la Tabla 1. La producción comercial fue mayor en el invernadero control. La diferencia se observó en los frutos de primera calidad, 14,5 kg m<sup>-2</sup> bajo el tratamiento control y 12,7 kg m<sup>-2</sup> bajo el plástico NIR. La producción de segunda categoría fue significativamente más baja, y similar en ambos tratamientos (Figura 6). En definitiva la producción comercial en el tratamiento NIR fue del orden de 13 % inferior al plástico control, debido en gran parte a la menor transmisividad a la radiación PAR del material NIR.

Se observaron también diferencias estadísticamente significativas en el número de ramos recolectados, siendo 16,4 y 15,1 para el film Control y NIR, respectivamente (Figura 7), así como en el peso medio de ramo comercial siendo de 620,8 y 588,3 g ramo<sup>-1</sup> igualmente para el plástico control y NIR (Tabla 1).

La reducción en transmisividad a la radiación PAR indujo un menor número de frutos y un menor peso medio de ramo comercial bajo el plástico NIR, influyendo en un menor rendimiento final.

En nuestras latitudes y durante los meses invernales la luz constituye generalmente el principal factor que limita la productividad de los cultivos protegidos. Numerosas experiencias desarrolladas en latitudes superiores confirman esta hipótesis, determinándose para algunos cultivos como tomate y pepino que reducciones del 1 % en iluminación suponen reducciones del 1 % en producción (Cockshull 1988; Lorenzo, 1999).

No existen muchos datos de producción en condiciones mediterráneas bajo plástico con tecnología NIR, siendo la mayoría de los ensayos realizados en Holanda. Tan solo y referente a pimiento no se observaron diferencias significativas en producción comercial en un cultivo de pimiento en Murcia en ciclo de cultivo de diciembre a agosto comparando un plástico experimental antitérmico, una malla de sombreo del 50 % y blanqueo de la cubierta (López et al, 2007).

García Alonso et al. (2006) comparando un plástico antitérmico y un plástico convencional encontraron incrementos en el rendimiento y en la calidad de cosecha a favor de la nueva formulación.

Gálvez et al. (2007), para constatar el comportamiento de un material de cubierta foselectivo NIR en un cultivo de pimiento lo comparó con un invernadero blanqueado y otro invernadero testigo, obteniendo rendimientos similares con ambas técnicas de sombreo aunque un pérdida de precocidad entorno al 50 % en el material NIR.

Según Abdel-Ghani et al. (2012) existen distintos materiales reflectantes de NIR en forma de cubiertas (plástica o cristal), pantallas o pinturas; y los beneficios del uso de estos de forma permanente o estacional depende del clima exterior de cada región (por ejemplo, usando cubiertas antitérmicas permanente en países del norte de Europa tiene efectos negativos sobre el crecimiento del cultivo y productividad en los meses invernales).

Hemming et al. (2006 b) cuantificaron el efecto de diferentes materiales antitérmicos sobre el clima del invernadero y la producción de un cultivo de tomate, así como también hicieron una estimación del porcentaje de radiación NIR que debe de ser bloqueado para obtener buenos resultados bajo condiciones climáticas de centro de Europa, concluyendo que existen técnicas eficientes y económicas viables para filtrar la radiación infrarroja cercana, ya sea mediante el uso de cubiertas o pantallas móviles; mientras que la productividad del cultivo de tomate se incrementó entre un 8-12 % en función del método utilizado.

A modo de conclusiones podemos destacar que:

- El film NIR ensayado no redujo la temperatura del aire frente al plástico testigo.
- El balance neto de radiación fue ligeramente mayor en el film NIR que en el film testigo.
- El film NIR provocó una reducción en PAR próxima al 15% lo que condujo a una menor producción de tomate, similar a las pérdidas de radiación PAR.
- El desarrollo de materiales plásticos para reducir la componente NIR deben de encaminarse a utilizar aditivos que reflejen el NIR y no que lo absorban (caso del ensayo).

Para zonas cálidas también sería muy interesante disponer de filmes que regularan la transmisión de radiación NIR en función de la temperatura, de manera que en el invernadero dejaran pasar toda la energía térmica solar que llegara y que esta transmisión disminuyera según se fuese incrementando la temperatura, sin afectar a la transmisión de radiación PAR que en todos los casos habría que maximizar (filmes cromogénicos, termocrómicos o escudos térmicos dinámicos).

## REVISIÓN

- Abdel-Ghany A.M., Ishigami Y., Goto E. and Kozai T. 2006. A method for measuring greenhouse cover temperature using thermocouple. *Biosystems engineering*, 95 (1) 99-109.
- Abdel- Ghani, A.; AL-Helal, I.; Alzahrani, S.; Alsadon, A.; Ali, I. and Elleithy, R. 2012. Covering materials incorporating radiation-preventing techniques to meet greenhouse cooling challenges in arid regions: a review. *The Scientific World Journal*
- Abreu P.E. y Meneses, J.F., 1994. Climatic characterisation of two plastic covered greenhouses under different natural ventilation methods, with a cold season tomato crop. *Acta Hort.* 366: 183-194.
- Abreu P.E., Meneses J.F., Monteiro A.A., 1994. Response of non heated plastic covered greenhouse tomatoes during the cold season under different natural ventilation methods. *Acta Hort.* 366: 195-200.
- Baille, A., 1999. Greenhouse structure and equipment for improving crop production in mild winter climates. *Acta Hort.* 491: 31-47.
- Blanchard M. y Runkle, E.S. 2010. Influence of NIR-reflecting shading paint on greenhouse environment, plant temperature and growth and flowering in bedding plants. *TransASABE* 53: 939-944.
- Cockshull, K. 1998. The Integration of plant physiology with physical changes in the greenhouse climate. *Acta Horticulturae*, 229: 113-123.
- Díaz, T., Espí, E., Fontecha, A., Jiménez, J. C., López, J., Salmerón, A. 2001. Los filmes plásticos en la producción agrícola. Ed. Mundi Prensa. 320 p.
- Gálvez, A.; López-Marín, J; González, A.; Calvo, M.; Espí, E. 2007. Uso de cubiertas en invernaderos con materiales plásticos fotoselectivos para variar la temperatura interior. XXXVII Seminario de técnicos y Especialistas en Horticultura. P. 1047-1054 Ed. MARM.
- García Alonso-Alonso, Y.; González, A.; López, J. 2006. New cool plastic films for greenhouse covering in tropical and subtropical areas. *Acta Hort.* 719: 131-137.
- Hemming, S., D. Waaijenberg, J.B. Campen, Impron and Bot G.P.A. 2006 a. Development of a greenhouse system for tropical lowland in Indonesia. *Acta Hort.* 710: 135-142.
- Hemming, S., Van der braak, N., Dueck, T., Elings, A. and Marissen, N. 2006 b. Filtering natural light at the greenhouse covering – Better greenhouse climate and higher production by filtering out NIR?. *Acta Hort.* 711: 411-416.
- Hemming, S.; Kempkes, F; Van der braak, N.; Dueck, T. and Marissen, N. 2006 c. Greenhouse Cooling by NIR-reflection. *Acta Hort.*: 719: 97-106.
- Hoffmann, S. and Waaijenberg, D. 2002. Tropical and subtropical greenhouses—A challenge for new plastic films. *Acta Hort.* 578: 163-171.
- Impron, I.; Hemming, S. y Bot, G.P.A. 2007. Simple greenhouse climate model as a design tool for greenhouses in tropical lowland. *Byosystems Enginneering* 98, no.1: 79-89.
- Kittas , C., Boulard, T., Mermier, M., Papadakis, G., 1996. Wind Induced Air Exchange Rates in a Greenhouse Tunnel with Continuous Side Openings. *J Agric. Eng. Res.* 65 (1), 37-49.

- López, J., García Alonso, Y., Gonzalez, A., Espi, E., Salmeron, A., Fontecha, A., Real, A.I. 2007. Actas de Horticultura 48: 868-871.
- López-Marín, J.; Gonzalez, A.; García Alonso, Y. 2008. "Use of cool plastic films for greenhouse covering in Southern Spain. Acta Hort. 801: 181-186.
- Lorenzo, P. 1998. Los determinantes microclimáticos de la horticultura intensiva en el sur mediterráneo. P. 25-44. En: Tecnología de invernaderos II. Curso superior de especialización. Eds: J. Pérez, I.M. Cuadrado. DGIFA, FIAPA y Caja Rural de Almería.
- Lorenzo, P. 1999. Los factores ambientales en el manejo de los cultivos sin suelo. p. 165-188. En Cultivos sin suelo II. Curso Superior de Especialización. Eds. Fernández y Cuadrado.
- Montero, J.I.; Antón A.; Muñoz, P. 1998. Refrigeración de invernaderos. p. 313-398. En Tecnología de invernaderos II Curso Superior de Especialización Eds. Pérez-Parra y Cuadrado.
- Samaniego-Cruz, E.; Quezada-Martin, M.R. ; de La Rosa, M.; Munguía-López, J.; Benavides-Mendoza, L.; Ibarra, L. 2002. Producción de plántulas de tomate y pimiento concubiertas de polietileno reflejante para disminuir la temperatura en invernadero. Agrocienca 36: 305-318.
- Von Elsner, B.y Xie, J. 2003. Effects of interference pigments in shading paint for greenhouses. Proceedings of the Thirty-first Agricultural Plastics Congress: 6-16.
- Waaijenbergh, D. 2006. Design, construction and maintenance of greenhouse structures. Acta Hort. 710: 31-42.

### Tablas y Figuras

Tabla 1. Temperatura diaria media (°C) de 24 horas, diurna, nocturna, máxima y mínima para el ciclo de cultivo.

Tratamiento	Temperatura del aire (°C)				
	24h	Diurna	Nocturna	Máxima	Mínima
<b>Plástico NIR</b>	17,5	21,9	13,7	40,9	4,7
<b>Plástico Control</b>	17,4	21,5	13,8	40,5	5,0
<b>Exterior</b>	15,5	17,8	13,5	30,2	3,3

Tabla 2. Producción total, comercial y por categorías para el ciclo de cultivo (0-247 d.d.t.). Valores seguidos de diferente letra indican diferencias significativas al 95 %.

	TOTAL (KGM-2)	COMERCIAL (KGM-2)	DESTRÍO (KGM-2)	CAT 1ª (KGM-2)	CAT. 2ª (KG M-2)	PESO MEDIO RAMO (GR RAMO <sup>-1</sup> )	RAMO TALLO <sup>-1</sup>
<b>PLÁSTICO NIR</b>	14,9 b	14,3 b	0,6 a	12,7 b	1,4 a	588,3 b	15,1 b
<b>PLÁSTICO CONTROL</b>	17,0 a	16,4 a	0,6 a	14,5 a	1,5 a	620,8 a	16,4 a

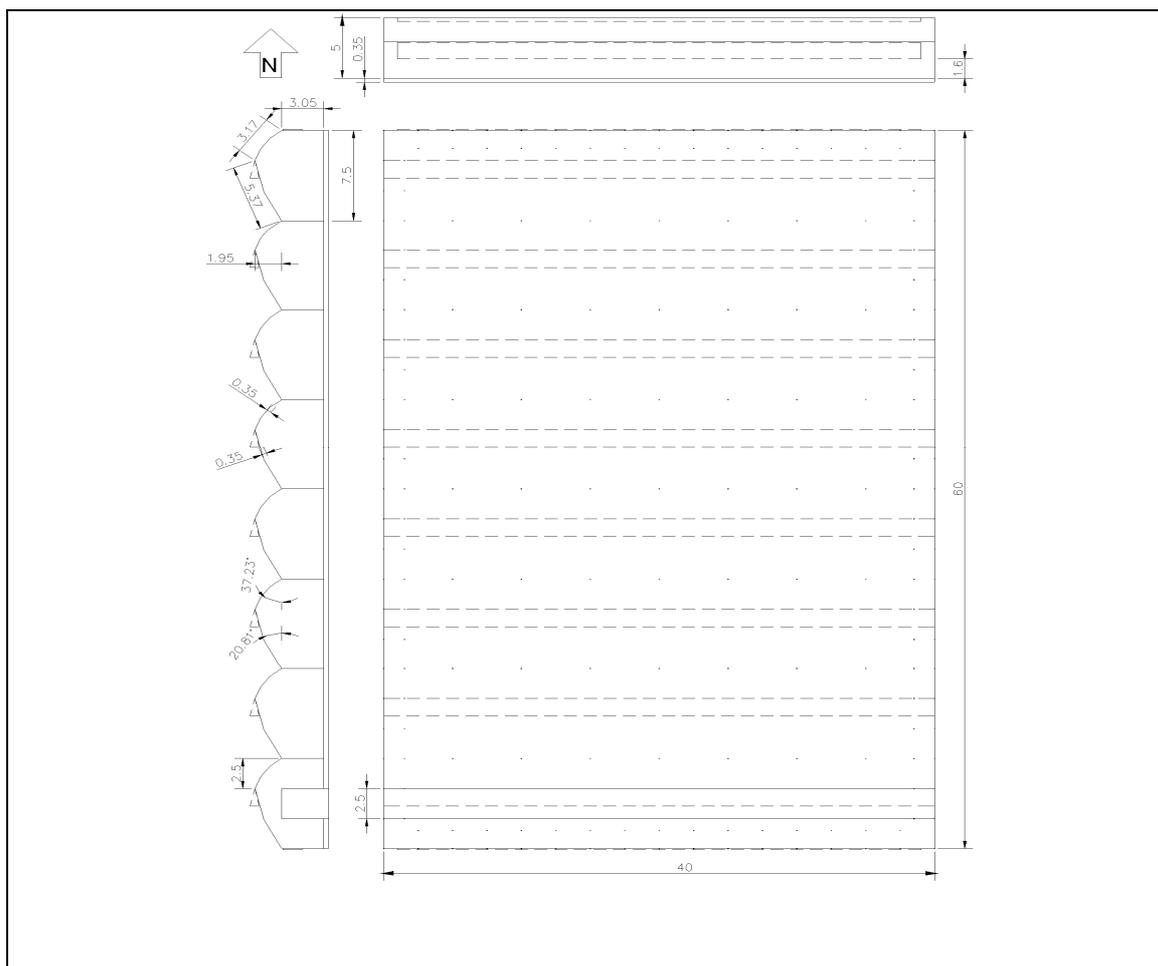


Figura 1. Estructura y dimensiones (m) de cada uno de los invernaderos utilizados en el ensayo durante la campaña 2010/2011.

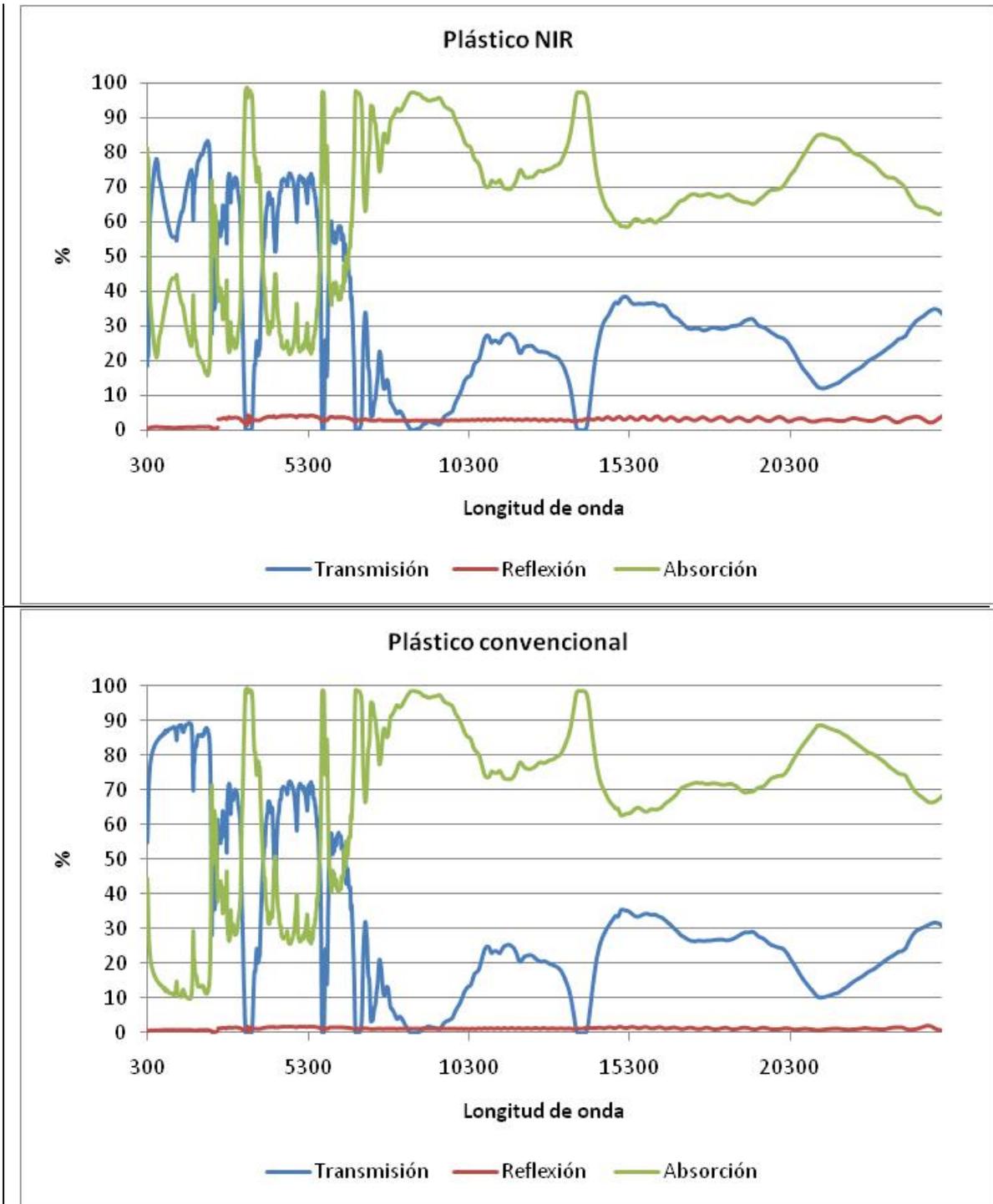


Figura 2. Espectros de transmisión, reflexión y absorción de los dos materiales evaluados (datos de laboratorio medidos y proporcionados por la Universidad de Wageningen).

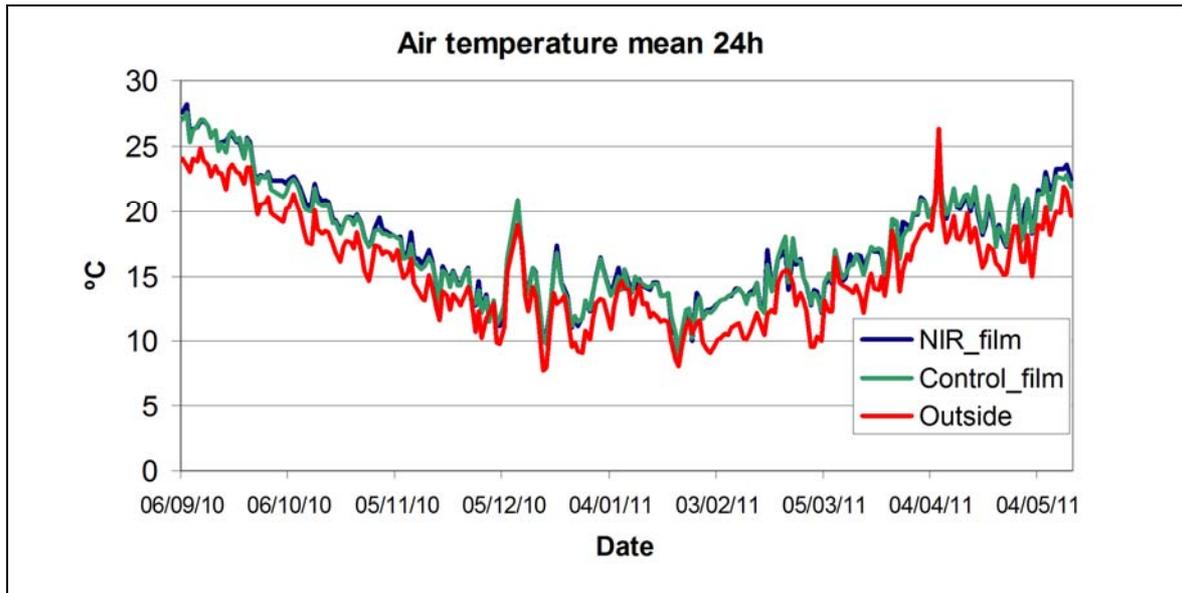


Figura 3. Temperatura media 24 h diaria (°C) en film NIR, film Control y en el exterior.

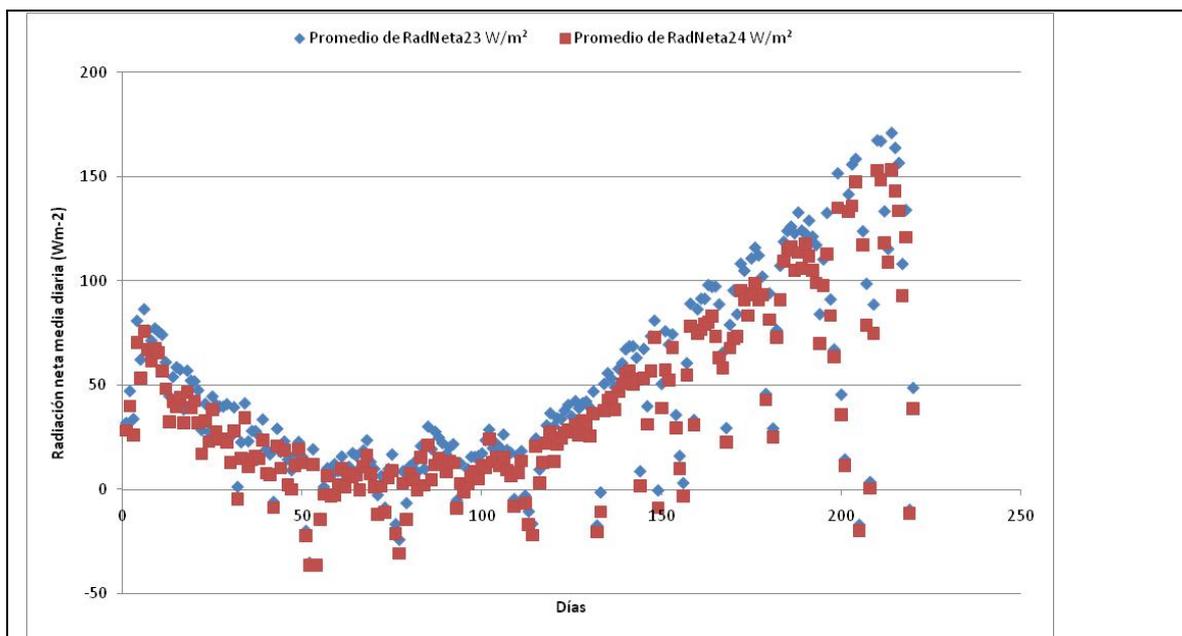


Figura 4. Media diaria de radiación neta ( $Wm^{-2}$ ) para dos tratamientos: NIR y Control.

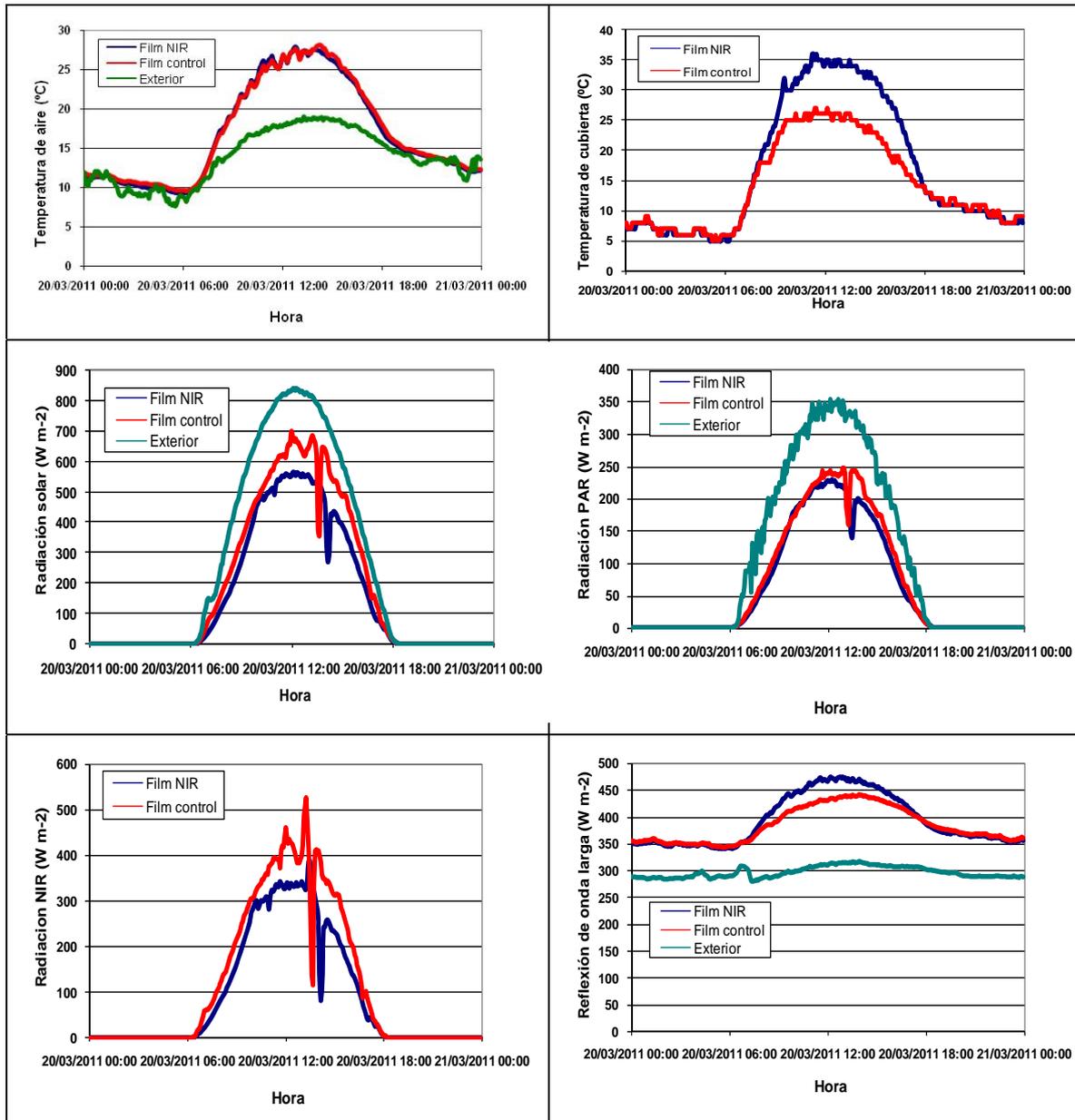


Figura 5. Temperatura del aire, de la cubierta y radiación durante un día representativo (20/03/2011) en ambos tratamientos.

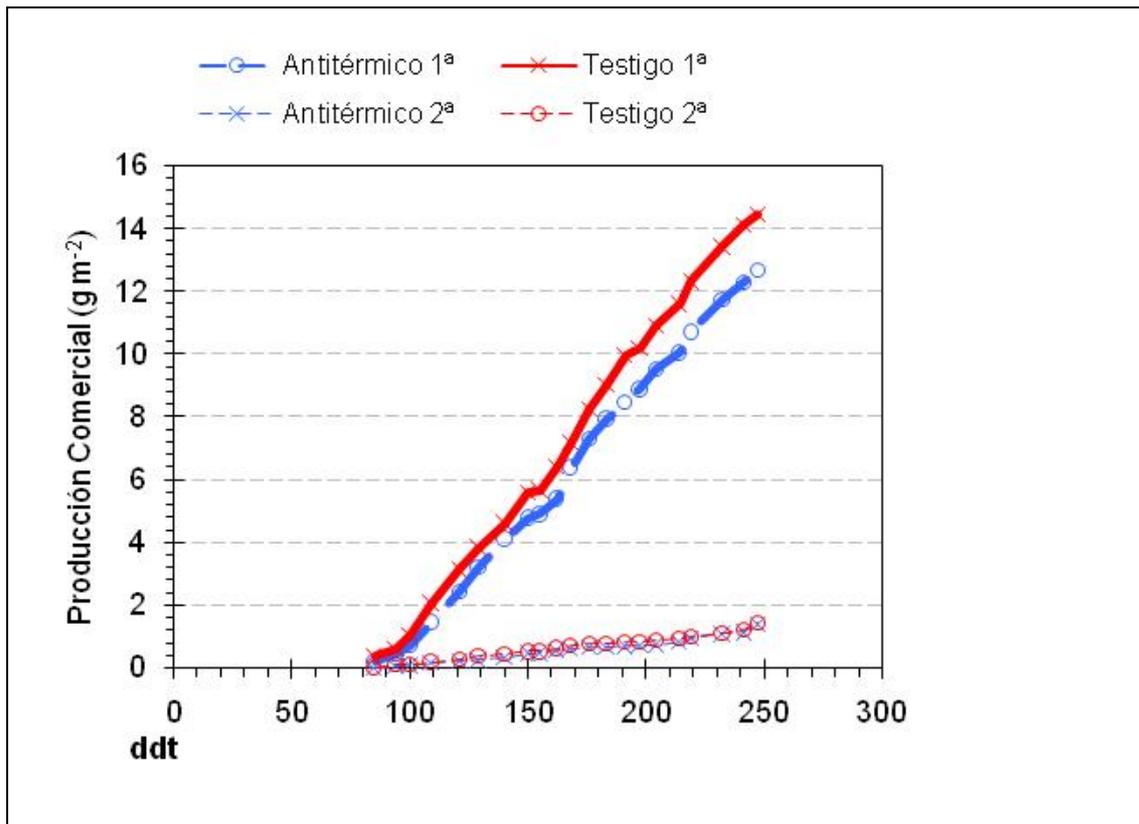


Figura 6. Producción comercial acumulada de primera y segunda categorías (gm<sup>-2</sup>) a lo largo del ciclo de cultivo para cada tratamiento.

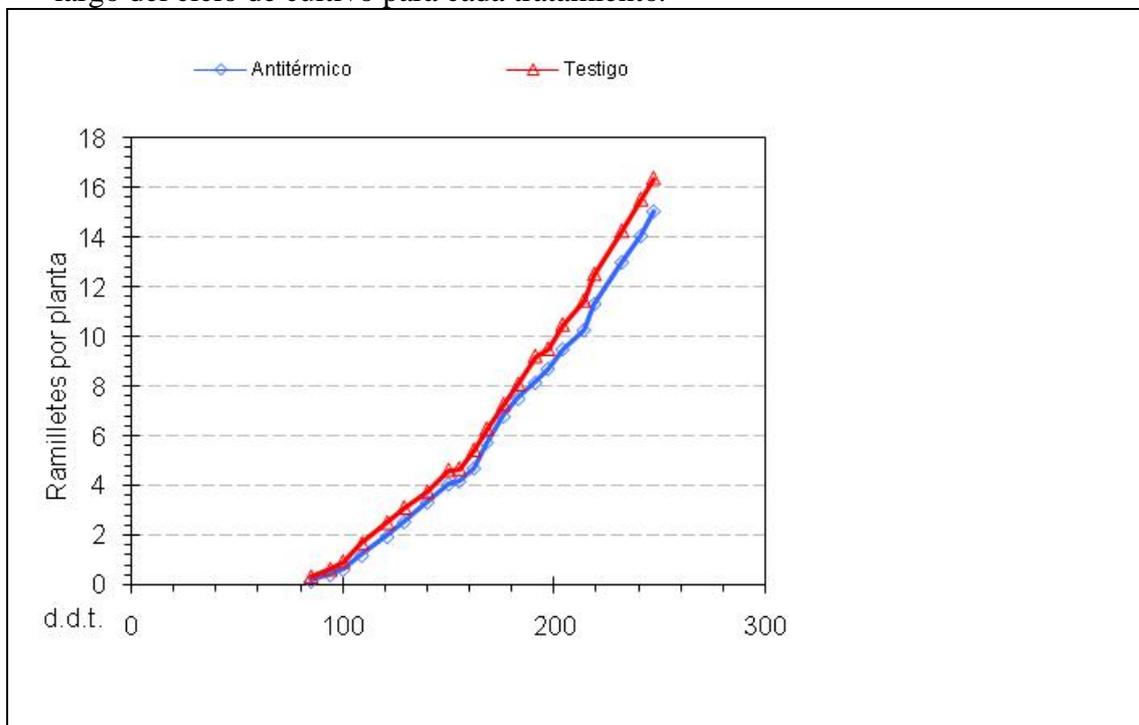


Figura 7. Número de ramos acumulados por planta recolectados para cada tratamiento a lo largo del ciclo de cultivo.



Figura 8. Vista del film plástico NIR (sin condensación) y film convencional (con condensación).

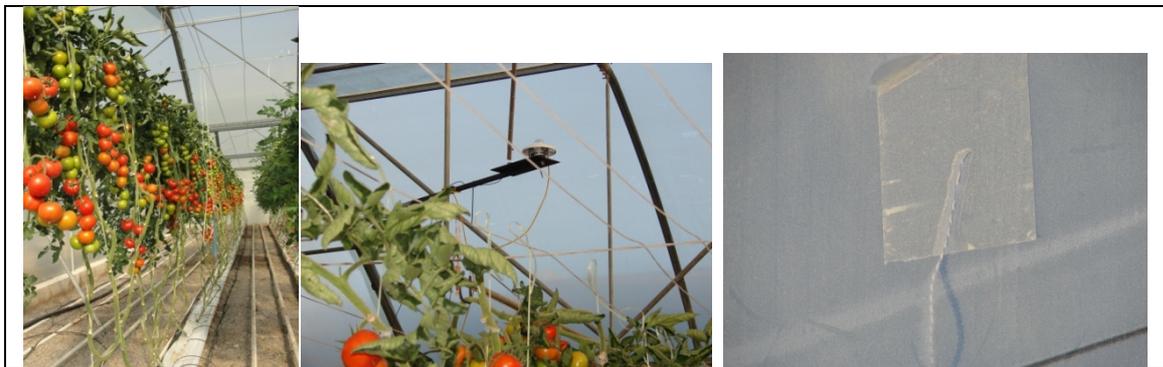


Figura 9. Vista general de cultivo, detalle de piranómetro y de termopar.