

# PRODUCCIÓN DE PLÁNTULAS DE TOMATE Y PIMIENTO CON CUBIERTAS DE POLIETILENO REFLEJANTE PARA DISMINUIR LA TEMPERATURA EN INVERNADERO

## TOMATO AND BELL PEPPER SEEDLINGS PRODUCTION UNDER REFLECTING POLYETHYLENE COVERS TO DECREASE TEMPERATURE IN GREENHOUSE

Eleno Samaniego-Cruz<sup>1</sup>, María Rosario Quezada-Martin<sup>2</sup>, Manuel De La Rosa-Ibarra<sup>3</sup>, Juan Munguía-López<sup>2</sup>, Adalberto Benavides-Mendoza<sup>1</sup>, Luis Ibarra-Jiménez<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Horticultura, <sup>2</sup>Departamento de Botánica. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista. 25315. Saltillo, Coahuila. Tel.: (8) 417-3022 ext. 395. <sup>3</sup>Centro de Investigación en Química Aplicada. Blvd. Ing. Enrique Reyna 140. Apartado Postal 379, Saltillo, Coahuila. 25100. México. Tel.: (844) 438-9830 ext. 451. Fax: (844) 438-98-39. (rquezada@polimex.ciqua.mx)

### RESUMEN

En este trabajo se analiza el efecto de cubiertas plásticas con aditivos reflejantes y absorbentes sobre la transmisión de radiación y temperatura interna en invernaderos, así como sobre el crecimiento, fotosíntesis, y acumulación de biomasa de plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cv Floradade y pimiento (*Capsicum annuum* L.) cv Capistrano. Se utilizaron dos películas de polietileno experimentales desarrolladas en el Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA): (CIQA-01, con aditivos que absorben mayormente en una longitud de onda y la transmiten en otra y CIQA-02, con aditivos reflejantes de la radiación), y como testigo una película de polietileno comercial (convencional) con aditivos UV para darle mayor tiempo de vida y la cual es usada comúnmente en los invernaderos de México. Cada una se colocó en un invernadero tipo capilla de 180 m<sup>2</sup>. Se midió la radiación total, la radiación fotosintéticamente activa (RFA) y la temperatura a dos alturas, dentro y fuera del invernadero. Como variables de respuesta de las plántulas se determinó la fotosíntesis, resistencia estomática (RE), área foliar, altura de la plántula, diámetro del tallo y producción de materia seca. La transmisión de la RFA fue de 59% para el testigo, y de 56 y 42% para CIQA-02 y CIQA-01. Asimismo, las películas CIQA-02 y CIQA-01 dieron lugar a temperaturas promedio menores en 0.5 y 1.5 °C y temperaturas puntuales en las horas críticas (13 a 16 h) de hasta 5 y 7 °C, respectivamente, en relación con el testigo. Las películas CIQA-02 y CIQA-01 redujeron la fotosíntesis en 24 y 38% para tomate y en 29 y 33% para chile, respecto al testigo. La resistencia estomática no mostró diferencias estadísticamente significativas entre las películas ni entre las especies, pero numéricamente fue mayor en las películas de CIQA. Aunque el testigo registró los valores más altos de radiación, temperatura y fotosíntesis, esto no se reflejó en mayor diámetro del tallo, área foliar y biomasa de las plántulas, en comparación con los otros tratamientos. En un promedio de ambas especies y entre las películas CIQA-02 y CIQA-01, éstas registraron 19, 2.75 y 2.98% más área foliar, biomasa y diámetro del tallo,

### ABSTRACT

This paper analyzes the effect of plastic covers with absorbent and reflecting preservatives on the radiation transmission and internal temperature of greenhouses; as well as on growth, photosynthesis and biomass accumulation of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cv Floradade and bell pepper (*Capsicum annuum* L.) cv Capistrano, seedlings. Two experimental films developed in the Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA) were used: (CIQA-01 with preservatives that absorb mostly in a wave longitude and transmit it in other, and CIQA-02, with preservatives that reflect the radiation) and as control a commercial polyethylene film (conventional) with UV additives for long life period which is commonly used in México. Each film was placed in a 180 m<sup>2</sup> greenhouse chapel type. Total and photosynthetically active radiation (PAR) were measured, external and internal temperatures of the greenhouse were quantified at two heights. Seedling response was described by CO<sub>2</sub> assimilation rate, stomatal resistance (SR), leaf area, stem diameter, plant height, and dry weight production. Average PAR transmittance inside the greenhouse were 59, 56, and 42% for conventional film, CIQA-02, and CIQA-01. Likewise, the reflective experimental films CIQA-02 and CIQA-01 gave rise to reductions in 0.5 and 1.5 °C, respectively, in the temperature of the greenhouse. In critical hours (13 to 16 h) the difference was 5 y 7 °C lower than the control. The experimental films CIQA-02 and CIQA-01 caused a 24 and 38% reduction in CO<sub>2</sub> assimilation for tomato, and a 29 and 33% reduction for sweet pepper. SR did not show significant differences between the films neither between species, but was higher in the experimental CIQA films. Although the control film registered the highest values of radiation, temperature and CO<sub>2</sub> assimilation, this was not reflected in greater stem diameter, leaf area, and plant dry weight, in comparison to the other treatments. Considering the average of both species and CIQA-02 and CIQA-01 films, these registered 19, 2.75, and 2.98% more leaf area, dry weight, and stem diameter, but 5.1% less seedling's height than control, which is favorable in seedling production.

Recibido: Enero, 2001. Aprobado: Marzo, 2002.  
Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 36: 305-318. 2002.

**Key words:** *Capsicum annuum* L., *Lycopersicon esculentum* Mill., photosynthesis, microambient, stomatal resistance, transmittance.

pero 5.1% menos en altura de plántula que el testigo, lo cual resulta favorable en la producción de plántulas.

**Palabras clave:** *Capsicum annuum* L., *Lycopersicon esculentum* Mill., fotosíntesis, microambiente, resistencia estomática, transmisión.

## INTRODUCCIÓN

Los plásticos han revolucionado las técnicas de producción agrícola y es común su uso en forma de películas para acolchado, microtúneles, túneles e invernaderos. En México, el uso de invernaderos ha adquirido auge en la producción de hortalizas en gran escala, específicamente de plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) y chile (*Capsicum annuum* L.). Los avances en el trasplante, tales como el uso de sustratos especiales, programas de fertilización para plántulas, charolas de múltiples cavidades, híbridos de alto valor y el uso de invernaderos han contribuido al crecimiento de la industria, al incrementar la seguridad de los cultivos (Wien, 1997; Orzolek y Lamont, 1999).

Es posible manipular las respuestas adaptativas de los vegetales modificando los factores ambientales a los que son más sensibles, por lo que la industria hortícola y la de plásticos para uso agrícola han puesto énfasis en el estudio de la radiación. En invernadero son factores clave la intensidad y la calidad de la radiación (balance espectral), ya que modifican la temperatura interna y las respuestas morfológicas y fisiológicas de las plantas (Benavides, 1998)<sup>4</sup>. Las plantas son organismos que carecen de movilidad, por lo que desarrollan una serie de adaptaciones en el tamaño, composición y eficiencia de los sistemas de captura de radiación que compensan las variaciones en la disponibilidad de energía solar (Geiger y Servaites, 1994). La adaptación se consigue por la acción conjunta de diferentes fotorreceptores (clorofilas, carotenoides, fitocromos, etc.), con los cuales la planta percibe las características de la radiación como duración, intensidad, dirección y calidad espectral (Smith, 1995).

La temperatura afecta la actividad metabólica celular, la absorción de agua y nutrientes, el intercambio gaseoso, la producción y gasto de carbohidratos y reguladores del crecimiento, entre otros (Tognoni, 2000a). Durante el verano, un problema que enfrentan los productores que utilizan invernaderos son las elevadas temperaturas, las cuales disminuyen la calidad de hortalizas y flores, y causan quemaduras en plántulas.

Para reducir la radiación solar y atenuar la temperatura en un invernadero se utilizan pantallas térmicas, malla sombra y aplicación de carbonato de calcio sobre las cubiertas. Esta última práctica reduce la vida útil del

## INTRODUCTION

Plastics have revolutionated techniques of agricultural production and it is common their use in form of films as mulchs, microtunnels, tunnels and greenhouses. In México, greenhouses' use has become common in vegetable production in great scale, specifically of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) and bell pepper (*Capsicum annuum* L.) seedlings. Advances in transplant, such as the use of special substrates, fertilization programs for seedlings, multiple cavities plug trays, high value hybrids and the use of greenhouses have contributed to the growth of the industry, by increasing the security of cultivations (Wien, 1997; Orzolek and Lamont, 1999).

It is possible to manipulate adaptative responses of the vegetables modifying the environmental factors to which they are more sensitive, and for that reason horticultural and plastics for agricultural use industries have put emphasis in the study of radiation. Intensity and quality of radiation (spectrum balance) are key factors in the greenhouse, since they modify the internal temperature and morphologic and physiologic plant responses (Benavides, 1998)<sup>4</sup>. Plants are organisms that lack mobility, and hence develop a series of adaptations in size, composition and efficiency of radiation capture systems, to compensate variations in the availability of solar energy (Geiger and Servaites, 1994). Adaptation is achieved by the combined action of different photoreceivers (chlorophylls, carotenoids, phytochromes, etc.), through which plants perceive characteristics of radiation such as duration, intensity, direction and quality (Smith, 1995).

Temperature affects metabolic cellular activity, water and nutrients absorption, gas exchange, production and use of carbohydrates and plant growth regulators, among other (Tognoni, 2000a). During summer, the producers in greenhouses face problems of high temperatures, diminish quality of vegetables and flowers, and cause burns in the seedlings.

To reduce the solar radiation and to attenuate the temperature in a greenhouse, thermal screens, mesh shade and application of carbonate of calcium on the cover are used. This last practice reduces the useful life of polyethylene, since carbonate of calcium extracts the preservatives of the films affecting their mechanical properties. Also, the use of these materials, equipments and technologies considerably increase production costs, because of their price, installation, operation and maintenance.

Investigations aimed to reduce high temperatures of greenhouses with passive controls, that is those that do

<sup>4</sup> Benavides M., A. 1998. Modificación en los ambientes espectrales de crecimiento y su efecto sobre el comportamiento fisiológico y productividad de *Lactuca sativa* L. y *Spinacia oleracea* L. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Biológicas, UANL. 217 p.

polietileno, ya que el encalado extrae los aditivos de las películas y afecta sus propiedades mecánicas. Además, el uso de estos materiales, equipos y tecnologías eleva en forma considerable los costos de producción, por su precio, instalación, funcionamiento y mantenimiento.

Las investigaciones enfocadas a reducir las altas temperaturas de los invernaderos con controles pasivos, es decir aquellos que no cuentan con sistemas de refrigeración y extracción, son escasas, pero existe la necesidad de desarrollar plásticos para cubiertas que modifiquen la radiación y disminuyan la temperatura, sin afectar el crecimiento y calidad de las plantas. Por ello, el Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA) ha desarrollado dos prototipos de materiales plásticos, de tres años de duración, que ayudan a disminuir la temperatura interna de los invernaderos. En este trabajo se presentan los resultados de investigación sobre la validación de estas películas, con la finalidad de que los productores puedan usarlas en sustitución de las prácticas actuales de control de temperatura. Los objetivos del estudio fueron: determinar el efecto de las películas plásticas termorreguladoras sobre la radiación y temperatura internas del invernadero, y evaluar la influencia del microambiente sobre el crecimiento, fotosíntesis y acumulación de materia seca de plántulas de tomate y pimiento. La hipótesis planteada fue que las películas a evaluar reducirían la temperatura interna de los invernaderos al modificar la radiación solar respecto a la película comercial, sin afectar negativamente el desarrollo de las plántulas de pimiento y tomate.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolló durante el ciclo agrícola primavera-verano de 2000, en invernaderos del campo agrícola experimental del CIQA en Saltillo, Coahuila, México. Se evaluó el efecto de dos prototipos de cubiertas de polietileno (PE) para invernadero: CIQA-01 (con aditivos que absorben en una longitud de onda y la transmiten en otra) y CIQA-02 (con aditivos reflejantes de la radiación) sobre plántulas de tomate cv. Floradade y de pimiento cv. Capistrano. Se compararon con una cubierta testigo comercial de polietileno con aditivos UV para larga duración, usada comúnmente en México.

Se utilizaron tres invernaderos tipo capilla, de 180 m<sup>2</sup> cada uno, y se sembraron 504 charolas de 200 cavidades, 216 de tomate y 288 de pimiento, usando como substrato el Peat Moss Premier Promix PGX. La siembra de pimiento fue el 16/03/00, y la de tomate el 17/03/00, depositando una semilla por cavidad y se dio un riego pesado. Las charolas se estibarón y taparon con un plástico negro, colocándose en un solo invernadero hasta que germinó 85% de la semilla. Cuando las plántulas empezaron a puntear se desestibarón y distribuyeron en los invernaderos; colocando 72 charolas de tomate y 96 de pimiento en cada invernadero. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar, con tres tratamientos, dos especies y cuatro repeticiones de tres charolas cada una; tomando diez plantas de cada charola para un

not have refrigeration and extraction systems are scarce. Nonetheless, there is a need of developing plastics covers to modify radiation and lower temperature, without affecting growth and quality of plants. Therefore, the Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA) has developed two prototypes of plastic materials, of three year duration, that help to diminish the internal temperature of greenhouses. This work presents research results on the validation of these films, with the purpose that the producers can use them instead of the current practices of temperature control. Objectives of the study were: to determine the effect of the thermoregulators plastic films on the intern radiation and temperature of the greenhouse, and to evaluate the influence of the microenvironment on growth, photosynthesis and dry matter accumulation of tomato and pepper seedlings. Hypothesis was that the films to be evaluated would reduce the internal temperature of greenhouses modifying solar radiation with respect to commercial film, without affecting negatively the development of pepper and tomato seedlings.

## MATERIALS AND METHODS

The investigation was carried out during the spring-summer of 2000, in greenhouses of the agricultural experimental field of CIQA in Saltillo, Coahuila, México. The effect of two prototypes covers of polyethylene (PE) for greenhouse was evaluated: CIQA-01 (with preservatives that absorb in a wave longitude and transmit it in another) and CIQA-02 (with reflecting radiation preservatives) over seedlings of tomato cv. Floradade and of pepper cv. Capistrano. They were compared with a commercial polyethylene plastic cover as control, with preservatives UV for long duration, commonly used in México. Three greenhouses type chapel of 180 m<sup>2</sup> each were used, and 504 plug trays of 200 cavities were sown, 216 of tomato and 288 of pepper, using as substratum the Peat Moss Premier Promix PGX. Pepper sow was the 03/16/00, and that of tomato on 03/17/00, depositing a seed per cavity with a heavy watering. Plug trays were stowed and covered with black plastic and placed in a single greenhouse until 85% of the seeds germinated. When seedlings began to be dotted, the plug trays were unstowed and distributed in the greenhouses; 72 plug trays of tomato and 96 of pepper were placed in each. A completely randomized experimental design was used, with three treatments, two species, and four repetitions of three plug trays each; taking ten plants of each plug tray for a total of 30 seedlings sampled for repetition, on each evaluated species. The sampled plug trays were not considered for the next sampling.

Watering was applied manually, two to three times a day, taking care of maintaining the substratum humid. During the first four weeks 200 L of water were applied daily for the total number of trays, and when seedlings had four true leaves and temperature increased, the quantity of water was increased to 400 L. Fertilizer was applied daily in the first watering, basically soluble sources of Nitrate of calcium, Nitrate of potassium, Superfos 1260, Grofol, Raizal, Nitrocel, Lobi

total de 30 plántulas muestreadas por repetición, para cada una de las especies evaluadas. Las charolas muestreadas no se consideraron para el siguiente muestreo.

Se aplicó riego por aspersión en forma manual, dos a tres veces al día, cuidando mantener húmedo el sustrato. Durante las primeras cuatro semanas se aplicaron 200 L diarios de agua para el total de charolas, y cuando las plántulas tuvieron cuatro hojas verdaderas y la temperatura se incrementó, se aumentó la cantidad de agua a 400 L. El fertilizante se aplicó diariamente en el primer riego, básicamente fuentes solubles de nitrato de calcio, nitrato de potasio, Superfos 12-60, Grofol, Raizal, Nitrocel, Lobi 44, Foltron Plus, Poliquel Mult y Sequestrene. La cantidad y fuentes variaron conforme las plántulas fueron presentando 2, 4, 6 y 8 hojas verdaderas; pero en la etapa inicial se alternó el Raizal y Superfos. El control fitosanitario fue preventivo, con aplicaciones de Tecto 60, Captán, Bavistín y Confidor.

Para registrar las variables climáticas, en cada invernadero se colocó un sensor Quantum (LI-COR Inc., Lincoln, Nebraska) a 40 cm sobre del piso, para medir la radiación fotosintéticamente activa en  $\mu\text{m m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , y un piranómetro del mismo tipo para medir la radiación total en  $\text{W m}^{-2}$ , a fin de determinar la transmisión de la radiación de los dos tipos a través de los polietilenos evaluados, usando como referencia sensores iguales y colocados a la misma altura en el exterior de los invernaderos. Para la temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) se colocó un termopar (LI-COR Inc.) a 80 cm sobre el nivel de suelo, a la altura de las charolas (temperatura inferior), y otro a 2.2 m sobre el nivel del suelo, 40 cm bajo la cubierta plástica (temperatura superior). Como referencia, al exterior de los invernaderos se ubicaron termopares; uno a 80 cm sobre el piso y el otro a 2.20 m. Todos los sensores fueron conectados a equipos Data Logger LI-1000 de LI-COR Inc., los cuales registraron datos cada minuto y obtuvieron valores medios cada hora, durante 24 horas y por 45 días, a partir de las cero horas del día 29 de marzo de 2000, que fue cuando las charolas se desestibarón y las plántulas se colocaron en los invernaderos respectivos.

Previamente, en una curva de respuesta de fotosíntesis en ambas especies, se detectaron las horas de máxima actividad (13:00, 14:00 y 15:00 h), y en ese lapso se hicieron las lecturas de fotosíntesis ( $\mu\text{m CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) con un analizador de gases infrarrojo (IRGA) LI-6400 de LI-COR, Inc. Se eligieron hojas totalmente expandidas en chile y foliolos en tomate, de tres plántulas de diferentes charolas, en días con cielo despejado y con intervalos de una hora entre lecturas. La secuencia de medición en los tres invernaderos y en las tres horas fue completamente al azar. El tomate se evaluó cuatro veces y el pimiento cinco, ya que la plántula de tomate tiene un desarrollo más rápido que el pimiento y el punto para trasplante es anterior. Las evaluaciones se realizaron cada ocho días en ambas especies. Se reportan datos de tres lecturas instantáneas, de las horas de medición y de tres repeticiones. Simultáneamente se determinó la resistencia estomática al flujo de  $\text{CO}_2$ , la cual se expresa en  $\text{s m}^{-1}$ .

Para las variables agronómicas se realizaron muestreos cada ocho días; cuatro en tomate, a partir del día 10 de abril (12 días de edad); y cinco en pimiento, del 17 del mismo mes (19 días de edad) en adelante; esto es, cuando las plantas tuvieron dos hojas verdaderas. En cada muestreo se hicieron cuatro repeticiones, cada repetición compuesta de tres charolas, y de cada charola se tomaron al azar 10 plántulas.

44, Foltron Bonus, Poliquel Mult and Sequestrene. Quantity and sources were varied as seedlings presented 2, 4, 6 and 8 true leaves; but on the initial stage Raizal and Superfos were alternated. Phitosanitary control was preventive, with applications of Tecto 60, Captan, Bavistin and Confidor.

A Quantum sensor (LI-COR Inc., Lincoln, Nebraska) was placed to 0.40 m above the floor in each greenhouse to measure the photosynthetically active radiation (PAR) in  $\mu\text{m m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , and a pyranometer of the same type to measure the total radiation in  $\text{W m}^{-2}$ , in order to determine radiation transmission of the two types through the evaluated polyethylenes, using as reference similar sensors placed at the same height in the exterior of the greenhouses. For temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ), a thermopar (LI-COR Inc.) was placed at 80 cm above floor level, at plug trays height (inferior temperature), and another at 2.2 m above floor level, 40 cm below the plastic cover (superior temperature). As reference, outside the greenhouses thermopars were placed; one 80 cm above floor level and the other one at 2.20 m. All sensors were connected to a Data Logger LI-1000 (LI-COR Inc.) equipment, which registered data every minute obtaining mean values every hour, during 24 hours for 45 days, starting from zero hours in March 29, 2000 (when plug trays were unstowed and placed in the respective greenhouses).

Previously, in a curve of photosynthesis response in both species, the hours of maxim activity were detected (13:00, 14:00 and 15:00 h), and in this lapse photosynthesis readings ( $\mu\text{m CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) with an infrared gas analyzer (IRGA) LI6400 of LI-COR, Inc. were made. Leaves completely expanded were chosen in pepper and leaflet in tomato, of three seedlings of different plug trays, in clear sky days and with one hour intervals among readings. Mensuration sequence in the three greenhouses and the three hours was completely random. Tomato was evaluated four times and pepper five, since tomato seedling has a quicker development than pepper, and transplant is earlier. Evaluations were carried out every eight days in both species. Data of three instantaneous readings are reported, of mensuration hours and of three replications. Simultaneously, stomatal resistance to the flow of  $\text{CO}_2$  expressed in  $\text{s m}^{-1}$ , was determined.

For agronomic variables, samplings were carried out every eight days; four in tomato starting in April 10 (12 days of age); and five in pepper, starting in April 17 (19 days of age); when plants had two true leaves. In each sampling four repetitions were made, each one made up of three plug trays, and taking 10 seedlings at random from each tray. Different plant organs (leaves, stems and roots) were sectioned to determine leaf area ( $\text{cm}^2 \text{ plant}^{-1}$ ) with the area meter leaf Model LI3100 of LI-COR Inc.; height to apical growth (cm) with a scale and stem diameter in the stem-root base (cm) with a Vernier. All plant structures were placed in paper bags and dried until constant weight in a stove Blue M-Electric Company at 65-70  $^{\circ}\text{C}$  during 48 hours. Later, total dry weight was determined ( $\text{mg plant}^{-1}$ ) in an electronic scale ANDHR120, and with these data the relative growth rate was calculated.

## RESULTS AND DISCUSSION

Total radiation in the greenhouses had highly significant differences among polyethylenes ( $p=0.01$ ).

Los distintos órganos (hojas, tallo y raíz) se seccionaron para determinar el área foliar ( $\text{cm}^2 \text{planta}^{-1}$ ) con el medidor de área foliar Modelo LI-3100 de LI-COR Inc.; la altura hasta el crecimiento apical (cm) con una escala; y el diámetro del tallo en la base tallo-raíz (cm) con un Vernier. Se colocaron en bolsas de papel estraza y se secaron hasta peso constante en una estufa Blue M-Electric Company a 65-70 °C durante 48 horas. Posteriormente se determinó el peso seco total ( $\text{mg planta}^{-1}$ ) en una balanza electrónica AND-HR-120, calculándose con estos datos la tasa de crecimiento relativo.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La radiación total (RT) dentro de los invernaderos tuvo diferencias altamente significativas entre los polietilenos ( $p=0.01$ ). El convencional, respecto al CIQA-01, registró 11.9% más; pero en el promedio (Tukey,  $p=0.05$ ) no fue estadísticamente diferente a CIQA-02 (Cuadro 1). La radiación total dentro de los invernaderos, con respecto al exterior, la cual fue en promedio de  $592.50 \text{ W m}^{-2}$ , disminuyó en 34.7, 35.3 y 46.6% para los polietilenos Testigo, CIQA-02 y CIQA-01, respectivamente. Tognoni (2000b) señala que de 100% de radiación sólo 65 a 70% penetra al interior del invernadero; Krug (1997) menciona 50 a 70% y Cockshull *et al.* (1992) 58% en los meses de enero y febrero, atribuyéndolo, entre otros aspectos, a la época del año y a pérdidas por reflexión y absorción de los materiales de la cubierta.

La radiación fotosintéticamente activa (RFA) presentó diferencias altamente significativas entre tratamientos y la comparación de medias fue similar a la de RT. En relación con la RFA exterior, la cual fue en promedio  $1107.22 \mu\text{m m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , hubo reducciones de 41, 44 y 58% de transmisión para los polietilenos testigo, CIQA-02 y CIQA-01. Ryu *et al.* (1999) y Cerny *et al.* (1999) citan reducciones de 25 a 35%, pero sin especificar las características del polietileno.

La Figura 1 muestra la respuesta de los polietilenos a la RFA durante el día, los datos son promedio de todo el periodo de evaluación. Ésta fue mayor entre las 12:00 y 15:00 h; se observa que conforme fluctuó la RFA en el exterior, también se manifestó en el interior de los invernaderos, ocurriendo en orden decreciente el de polietileno convencional, CIQA-02 y CIQA-01.

Al respecto, Moens (1991) señala que el nivel de fotosíntesis se incrementa conforme lo hace la intensidad de RFA y varía entre cultivos. En este estudio se tuvo una disminución drástica en CIQA-01 ( $471.86 \mu\text{m m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) (Cuadro 1.). No obstante, Mc Avoy y Janes (1990), en plántulas de tomate, consideran que  $300 \mu\text{m m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  es una RFA alta para fotosíntesis y  $150 \mu\text{m m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  es baja. Estos resultados permiten inferir que la cantidad de aditivo de los polietilenos validados puede aumentarse sin afectar la RFA al grado de que modifique de forma importante la capacidad fotosintética de las plántulas y consecuentemente su crecimiento y desarrollo óptimo.

The conventional one, regarding the CIQA-01, registered 11.9% more; but in average (Tukey,  $p=0.05$ ) it was not statistically different to CIQA-02 (Table 1). Total radiation inside the greenhouses, with regard to the exterior, which was on average of  $592.50 \text{ W m}^{-2}$ , diminished in 34.7, 35.3 and 46.6% for the polyethylenes Control, CIQA-02 and CIQA-01, respectively. Tognoni (2000b) points out that of 100% radiation, only 65 to 70% penetrate in the greenhouse; Krug (1997) mentions 50 to 70% and Cockshull *et al.* (1992) 58% on January and February, attributing it, among other aspects, to the time of year and to losses by reflection and absorption on the cover materials.

The photosynthetically active radiation (PAR) presented highly significant differences among treatments and the means comparison was similar to that of TR. In relation with the external PAR, which on average was  $1107.22 \mu\text{m m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , reductions of 41, 44 and 58% of transmission for the control, CIQA-02 and CIQA-01 polyethylenes occurred. Ryu *et al.* (1999) and Cerny *et al.* (1999) mention reductions from 25 to 35%, but without specifying the polyethylene characteristics.

Figure 1 shows the polyethylenes response to PAR during the day; data are averages for all the evaluation period. It was superior among 12:00 and 15:00 h, observing that as PAR fluctuated on the exterior, did it also in the interior of greenhouses, occurring in descending order for conventional, CIQA-02 and CIQA-01 polyethylenes.

Moens (1991) points out that the photosynthesis level increases with PAR and varies among crops. In this study a drastic decrease was observed ( $471.86 \mu\text{m m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) in CIQA-01 (Table 1.). Nevertheless, Mc Avoy and Janes (1990), in tomato seedlings, consider that  $300 \mu\text{m m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  is a high PAR for photosynthesis and  $150 \mu\text{m m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  is low. These results allow to infer that the quantity of preservative present in the validated polyethylenes can be increased without affecting the PAR to a degree that modifies in an important way the photosynthetic capacity of seedlings and consequently their optimum growth and development. On the other hand, for the 13:00 to 16:00 h period, (Figure 2) regarding the total exterior radiation ( $786.03 \text{ W m}^{-2}$ ), inside the greenhouse there were reductions of 31, 32 and 45%, for Control, CIQA-01 and CIQA-02 polyethylenes; while for the external PAR during that period ( $1471.10 \mu\text{m m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), reductions were 38, 41 and 56.5%, in the same order of films (Figure 1).

The analysis of variance for temperature in the inferior level (80 cm above the floor), showed significant differences among treatments. The control polyethylene, with a positive difference of 0.5 °C, was not statistically different to CIQA-02 (Tukey,  $p=0.05$ ) but it was in respect to CIQA-01 (1.5 °C) (Table 1). Nevertheless, several data show temperatures higher (between 3 and 5 °C) in the

**Cuadro 1. Valores promedio de la radiación y temperatura al interior de invernaderos con diferentes polietilenos.**  
**Table 1. Average radiation values and temperature inside greenhouses with different polyethylenes.**

Tratamientos	RT ( $W m^{-2}$ )	RFA ( $\mu m m^{-2} s^{-1}$ )	Temperatura inferior ( $^{\circ}C$ ) 80 cm sobre el suelo		Temperatura superior ( $^{\circ}C$ ) 2.2 m sobre el suelo	
			9-19h	13-16h	9-19h	13-16h
			Convencional	386.73 a <sup>†</sup>	654.46 a	29.4 a
CIQA-01	316.23b	471.86 b	27.9 b	30.7 b	30.0 b	33.3 b
CIQA-02	383.35 a	620.69 a	28.9 ab	31.0 ab	29.5 b	32.0 b
C.V. (%)	15.98 **	15.97 **	10.0 4 *	10.50 *	9.78 **	10.44 **

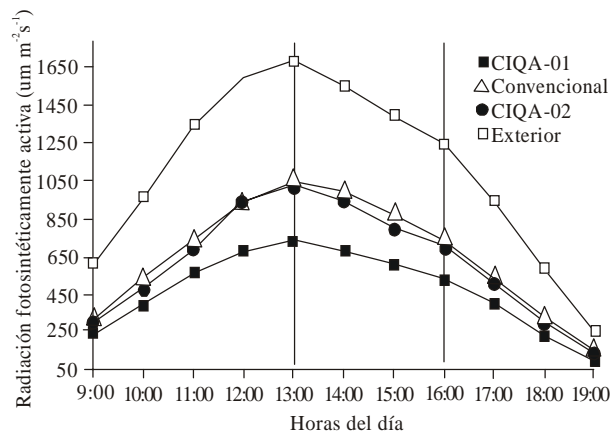
<sup>†</sup> Promedios seguidos de la misma letra, en las columnas, son estadísticamente iguales (Tukey,  $p=0.05$ ).

C.V. Coeficiente de variación.

\*, \*\* Diferencias significativas ( $p=0.05$ ) y altamente significativas ( $p=0.01$ ).

RT = Radiación total.

RFA = Radiación fotosintéticamente activa.

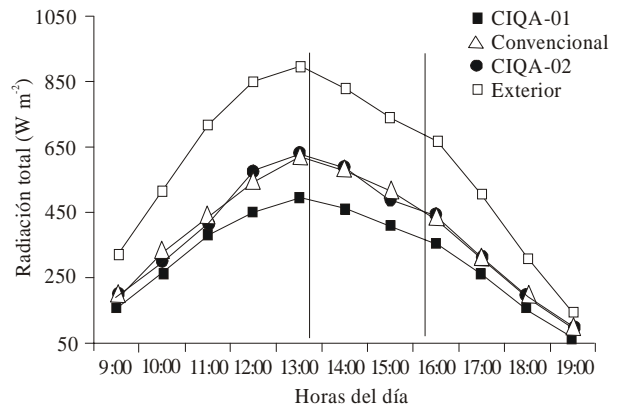


**Figura 1. Radiación fotosintéticamente activa registrada en el exterior y la transmitida al interior del invernadero por diferentes películas de polietileno.**

**Figure 1. Photosynthetically active radiation registered in exterior and transmitted into the greenhouse by different polyethylene films.**

Por otra parte, para el periodo de 13:00 a 16:00 h, (Figura 2) respecto a la radiación total en el exterior ( $786.03 W m^{-2}$ ), en el interior del invernadero hubo reducciones de 31, 32 y 45%, para los polietilenos Testigo, CIQA-02 y CIQA-01; en cambio, con respecto a la RFA exterior durante ese período ( $1471.10 \mu m m^{-2} s^{-1}$ ), disminuyó en 38, 41 y 56.5%, en el mismo orden de películas (Figura 1).

El análisis de varianza para la temperatura en el nivel inferior (80 cm sobre el suelo) mostró diferencias significativas entre tratamientos. El polietileno testigo, con una diferencia de  $0.5^{\circ}C$  más no fue estadísticamente diferente a CIQA-02 (Tukey,  $p=0.05$ ) pero sí a CIQA-01 ( $1.5^{\circ}C$ ) (Cuadro 1). No obstante, algunos datos muestran temperaturas mayores (entre  $3$  y  $5^{\circ}C$ ) en la película



**Figura 2. Radiación total registrada en el exterior y la transmitida al interior de los invernaderos por diferentes películas de polietileno.**

**Figure 2. Total radiation registered in exterior and transmitted into the greenhouse by different polyethylene films.**

control film. Concerning temperature in the inferior level on the exterior ( $25.73^{\circ}C$ ), differences were 3.7, 3.2 and  $2.2^{\circ}C$  for conventional, CIQA-02 and CIQA-01 polyethylenes.

Temperature on the superior level (2.2 m above the floor), presented highly significant differences, being statistically equal CIQA-01 and CIQA-02 with 2 and  $2.5^{\circ}C$  less than the conventional one (Table 1); although punctual data show reductions that fluctuate between 4 and  $9^{\circ}C$ . Regarding the external temperature ( $25.09^{\circ}C$ ), 7, 5 and  $4.5^{\circ}C$  more were registered inside the greenhouse, for Conventional, CIQA-01 and CIQA-02.

For the 13:00 to 16:00 h period (Table 1), in relation with the control the inferior average temperatures were 1.5 and  $1.85^{\circ}C$  lower in polyethylenes CIQA-02 and CIQA-01. On the other hand, for external temperature

testigo. Respecto a la temperatura en el nivel inferior en el exterior (25.73 °C), las diferencias fueron 3.7, 3.2 y 2.2 °C para los polietilenos convencional, CIQA-02 y CIQA-01.

La temperatura en el nivel superior (2.2 m sobre el suelo) presentó diferencias altamente significativas, siendo estadísticamente iguales los polietilenos CIQA-01 y CIQA-02 con 2 y 2.5 °C menos en relación con el convencional (Cuadro 1); aunque datos puntuales muestran reducciones que fluctúan entre 4 y 9 °C. Respecto a la temperatura exterior (25.09 °C), se registraron 7, 5 y 4.5 °C más dentro del invernadero, para los polietilenos convencional, CIQA-01 y CIQA-02.

Para el periodo de 13:00 a 16:00 h (Cuadro 1), en relación con el testigo, la temperatura promedio inferior fue de 1.5 y 1.85 °C menos en los polietilenos CIQA-02 y CIQA-01. En cambio, respecto a la temperatura exterior (27.76 °C) las diferencias fueron 4.8, 3.3 y 2.9 °C (mayores) en el interior de los invernaderos Testigo, CIQA-02 y CIQA-01. En la temperatura del nivel superior, respecto al testigo, se registraron 2.5 y 3.8 °C menos en los polietilenos CIQA-01 y CIQA-02. La temperatura exterior (26.89 °C) fue mayor 9, 6.4 y 5 °C dentro de los invernaderos Testigo, CIQA-01 y CIQA-02.

La Figura 3 muestra que la temperatura promedio de todo el periodo de evaluación, tomada al nivel de la plántula (80cm sobre el suelo), dentro del invernadero con polietileno CIQA-01 y con el convencional, en relación con la exterior, tienen el mismo comportamiento, incluso en las fluctuaciones de los registros durante el día. Sin embargo, el polietileno CIQA-02, entre las 9:00 y 12:00h, indujo temperaturas más altas, que luego disminuyeron gradualmente hasta las 18:00 h. Después no descienden drásticamente como en los otros polietilenos, lo que indica que es una película con características térmicas; es decir que bloquea en cierta medida el paso de radiación de onda larga tanto del exterior hacia dentro del invernadero disminuyendo su calentamiento, así como del interior hacia afuera, evitando la pérdida del calor acumulado durante el día.

En general, los cambios de temperatura que inducen los polietilenos desarrollados en el CIQA, pueden alterar de manera importante el crecimiento de las plántulas. Con estos resultados se evidencia que las temperaturas internas son ligeramente más altas que las recomendadas, ya que se requieren 25 a 27 °C para crecimiento vegetativo y 20 a 22 °C para biomasa y área foliar óptima de plántulas de pimiento (Wien, 1997). En la misma especie, Choe *et al.* (1988) obtuvieron un mayor peso seco y área foliar a 28 °C, pero mayor tasa fotosintética a 23 °C. En tomate se reportan 18 a 26 °C para el crecimiento óptimo en la etapa de plántula (Wien, 1997).

En comparación con otros métodos, la reducción de la temperatura lograda con estas películas es importante,

(27.76 °C) differences were 4.8, 3.3 and 2.9 °C (higher) in control, CIQA-02 and CIQA-01 in the interior of greenhouses. In the superior level temperature, with respect to the control, 2.5 and 3.8 °C less were registered for CIQA-01 and CIQA-02. External temperature (26.89 °C) was higher 9, 6.4 and 5 °C inside the greenhouses Control, CIQA-01 and CIQA-02.

Figure 3 shows that temperature averages for the whole evaluation period, taken at the level of the seedling (80 cm above the floor) inside the greenhouse with polyethylene CIQA-01 and with the conventional one, in relation with the external one, had the same behavior, even in the fluctuations of registers during the day. However, the polyethylene CIQA-02, among 9:00 and 12:00 h, induced higher temperatures, which diminished gradually until 18:00 h. Later they do not descend drastically as in the other polyethylenes, indicating that this is a film with thermal characteristics which blocks, to a certain extent, the flow of long wave radiation of the exterior toward the inside the greenhouse diminishing the heating, as well as of the interior toward the exterior, avoiding the loss of heat accumulated during the day.

In general, temperature changes induced by polyethylenes developed in CIQA may alter in an important way seedlings' growth. These results show that internal temperatures are slightly higher than those recommended (25 to 27 °C) for vegetative growth and 20 to 22 °C for optimum biomass and leaf area of pepper seedlings (Wien, 1997). In the same species, Choe *et al.* (1988) obtained more dry weight and leaf area at 28 °C, but higher photosynthetic rate at 23 °C. In tomato 18 to 26 °C are reported for good growth in the seedling stage (Wien, 1977).

Compared with other methods, temperature reduction obtained with these films is important, since Matallana and Montero (1995) achieved reductions of temperatures

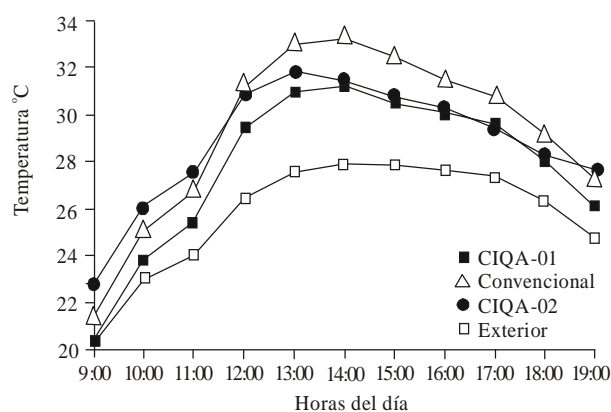


Figura 3. Temperatura al nivel de la plántula, registrada en el exterior e interior de las diferentes películas de polietileno.

Figure 3. Temperature at seedlings level, registered in the exterior and inside different polyethylene films.

ya que Matallana y Montero (1995) en el cultivo de tomate lograron reducciones de temperatura de 2 a 3 °C con el encalado; de 1 °C con la aplicación de un velo de agua sobre la cubierta y de 3.5 °C con agua más un colorante. En Chile, Jovicich *et al.* (1999), con mallas de 30% de sombreo, redujeron la temperatura máxima del aire en 4 °C. La pantalla evaporadora puede reducir hasta 23 °C en climas secos y muy cálidos, pero requiere estructuras especiales y es de mayor costo, por lo que sólo se ha recomendado para cultivos ornamentales. El uso de nebulización fina disminuye la temperatura de 10 a 15 °C con respecto a la exterior; pero no se recomienda para regiones con alta humedad relativa (Alpi y Tognoni, 1991; Tognoni, 2000a).

Las modificaciones del microambiente (irradiación y temperatura) que originan los polietilenos, influyen sobre procesos fisiológicos de las plántulas tales como tasa de fotosíntesis y resistencia estomática (Cuadro 2). En tomate hubo diferencias altamente significativas en las tasas fotosintéticas ( $p=0.05$ ); y en la comparación de medias (Tukey,  $p=0.05$ ), el PE convencional y CIQA-02 fueron estadísticamente iguales y mayores que CIQA-01. En pimiento, la tendencia numérica fue similar a la de tomate, pero no hubo significancia entre tratamientos. Se observa una relación consistente con las variables radiación y temperatura, y se observa que en tomate la tasa fotosintética es mayor que en pimiento; esto puede deberse a que las hojas de tomate tienen mayor pubescencia y capturan más radiación que las del pimiento, el cual tiene hojas más lisas y que reflejan más la radiación, además de que tienen diferente cantidad y forma de estomas.

El tomate mostró una reducción en tasa fotosintética de 24 y 38%; y el pimiento de 29 y 33% para CIQA-02 y CIQA-01, en relación con el testigo. Según Lee *et al.* (2000), el ambiente de radiación modifica la estructura foliar (estomas, grado y forma de espacios aéreos), limita la asimilación fotosintética y altera el contenido y

from 2 to 3 °C with whitewashed in tomato crop; of 1 °C with the application of a water veil diluted on the cover and of 3.5 °C with water plus a coloring. In pepper, Jovicich *et al.* (1999), with 30% shadow meshes, reduced air maximum temperature by 4 °C. Evaporator screens can reduce up to 23 °C in dry and very warm climates, but requires special structures and is more expensive, and hence is only recommended for ornamental crops. The use of fine nebulization diminishes temperature by 10 to 15 °C with respect to the external one; but is not recommended for regions with high relative humidity (Alpi and Tognoni, 1991; Tognoni, 2000a).

Modificaciones del microambiente (irradiación y temperatura) originadas por polietilenos, influyen sobre procesos fisiológicos de las plántulas, tales como fotosíntesis y resistencia estomática (Tabla 2). En tomate hubo diferencias altamente significativas en las tasas fotosintéticas ( $p=0.05$ ); y en la comparación de medias (Tukey,  $p=0.05$ ), el PE convencional y CIQA-02 fueron estadísticamente iguales y mayores que CIQA-01. En pimiento, la tendencia numérica fue similar a la de tomate, pero sin significancia estadística entre tratamientos. Se observa una relación consistente con las variables radiación y temperatura, y en tomate la tasa fotosintética es mayor que en pimiento; esto puede deberse a que las hojas de tomate tienen mayor pubescencia y capturan más radiación que las del pimiento, el cual tiene hojas más lisas y que reflejan más la radiación, además de que tienen diferente cantidad y forma de estomas.

Tomate showed a reduction in photosynthetic rate of 24 and 38%; and pepper of 29 and 33% for CIQA-02 and CIQA-01 respectively, as compared to control. According to Lee *et al.* (2000), the radiation atmosphere modifies leaf structure (stomata, degree and form of air spaces), limits photosynthetic assimilation and alters content and distribution of pigments, elements which jointly determine in group the efficiency of radiation capture by

**Cuadro 2. Valores promedio de variables fisiológicas en plántulas de tomate y pimiento en invernaderos con diferentes cubiertas de polietileno.**

**Table 2. Average values of physiologic variables in tomato and pepper seedlings in greenhouses with different polyethylene covers.**

Tratamientos	Tomate		Pimiento	
	Fotosíntesis ( $\mu\text{m m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	Resistencia estomática ( $\text{s m}^{-1}$ )	Fotosíntesis ( $\mu\text{m m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	Resistencia estomática ( $\text{s m}^{-1}$ )
Convencional	28.84 a <sup>†</sup>	0.342 a	26.06 a	0.319 a
CIQA-01	17.76 b	0.5879 a	17.42 a	0.355 a
CIQA-02	21.93 a	0.532 a	18.50 a	0.512 a
C.V. (%)	18.13 **	30.72 NS	42.32 NS	41.86 NS

<sup>†</sup> Promedios seguidos de la misma letra, en las columnas, son estadísticamente iguales. (Tukey,  $p=0.05$ ).

C.V. Coeficiente de variación.

\*\*, NS = Diferencias altamente significativas ( $p=0.01$ ) y no significativas.

distribución de pigmentos, elementos que en conjunto determinan la eficiencia en la captura de radiación por la hoja e influyen en la actividad fotosintética. En este caso varió de acuerdo con la RFA que transmiten las películas.

Respecto a la resistencia estomática (RE) en ambas especies, no hubo diferencias significativas entre tratamientos. Sin embargo en tomate, el polietileno CIQA-01 presentó la mayor resistencia ( $0.588 \text{ s m}^{-1}$ ), seguido por el polietileno CIQA-02 ( $0.532$ ) y finalmente el polietileno testigo. En pimiento, los polietilenos evaluados también registraron valores altos; aunque en el orden CIQA-02, CIQA-01 y testigo (Cuadro 2).

La RE mostró relación con los polietilenos y la radiación, y con la temperatura generada por éstos, así como con la fotosíntesis. La menor RE del testigo, asociada a una mayor temperatura y radiación, puede indicar la necesidad de la planta de una mayor transpiración para controlar su temperatura interna, por tanto, al estar el estoma más abierto, permite también mayor flujo de  $\text{CO}_2$  y, aparentemente, mayor tasa fotosintética, como se observa en el Cuadro 2, lo que no ocurre en los polietilenos CIQA-01 y CIQA-02, ya que las condiciones ambientales internas en estos invernaderos fueron menos estresantes para las plántulas, por lo que el estoma no tenía la necesidad de una mayor apertura, aunque al mismo tiempo se estaba limitando el flujo de  $\text{CO}_2$ . Por otro lado, no existe una relación directa entre la asimilación de  $\text{CO}_2$  y la producción de biomasa. La producción de biomasa del testigo no refleja el valor de asimilación de  $\text{CO}_2$  de las plántulas, ya que es muy poca la diferencia con los tratamientos CIQA-01 y CIQA-02, e incluso finalmente fue menor que en éstos. Lo anterior podría explicarse por el proceso de la fotorrespiración, donde una mayor incidencia de radiación trae como consecuencia una saturación más rápida de  $\text{O}_2$  en la planta y la inhibición de formación de los fotosintatos, sin disminuir la captación de  $\text{CO}_2$ . Las plantas con los tratamientos CIQA-01 y CIQA-02, al recibir menor radiación, mostraron una tendencia a incrementar el área foliar, comparados con el testigo. La mayor área foliar y eficiencia en la asimilación de  $\text{CO}_2$  se reflejó en una mayor acumulación de biomasa. Benavides (1998)<sup>4</sup>, en polietilenos con aditivos fotocromáticos, registró promedios de RE mayores que en el polipropileno, sin encontrar correlaciones significativas con las variables de radiación ni con la asimilación de  $\text{CO}_2$  en plantas de espinaca y lechuga. Este autor señala que debería haber una fuerte correlación, ya que la asimilación de  $\text{CO}_2$  se encuentra supeditada a la actividad estomática, en el sentido de maximizar el uso eficiente del agua por unidad de carbono asimilado. Sin embargo, Zeiger y Field, (1982) demostraron que la apertura estomática puede ocurrir de manera independiente, tanto de la actividad de asimilación de  $\text{CO}_2$  en el mesófilo, como de la concentración interna de  $\text{CO}_2$  en la cavidad subestomática.

the leaf and influence the photosynthetic activity. In this case it varied according to PAR transmitted by films.

Regarding stomatal resistance in both species, there were no significant differences among treatments. However, in tomato CIQA-01 presented the higher resistance ( $0.588 \text{ s m}^{-1}$ ), followed by CIQA-02 ( $0.532 \text{ s m}^{-1}$ ) and last the control. In pepper, the evaluated polyethylenes also registered high values; although in the order (CIQA-02, CIQA-01 and control; Table 2).

SR showed relation with polyethylenes and radiation, and with temperature generated by these, as well as with photosynthesis. Control's smaller SR, associated to a higher temperature and radiation, may indicate the need of higher plants transpiration in order to control their internal temperature; therefore, when the stomata is more open, allows also a higher  $\text{CO}_2$  flow and, apparently, a larger photosynthetic rate, as observed in Table 2, which does not happen in CIQA-01 and CIQA-02, since the internal environmental conditions in these greenhouses were less stressing to seedlings, and consequently the stomata had no need of a bigger opening, even when at the same time  $\text{CO}_2$  flow was being limited. No direct relation was found among  $\text{CO}_2$  assimilation and biomass production. Control's biomass production does not reflect seedling's  $\text{CO}_2$  assimilation value, since there is little difference with CIQA-01 and CIQA-02 treatments and at the end it was even smaller than in these. The above-mentioned could be explained by the photorespiration process, where a larger incidence of radiation results in a quicker saturation of  $\text{O}_2$  in the plant and in the inhibition of assimilates formation, without diminishing  $\text{CO}_2$  reception. The plants with CIQA-01 and CIQA-02 treatments, which received less radiation, showed a tendency to increase leaf area, compared with the control. The biggest leaf area and efficiency in  $\text{CO}_2$  assimilation was reflected in a larger biomass accumulation. Benavides (1998), in polyethylenes with photochromatics preservatives, registered larger SR averages than with polypropilene without finding significant correlations should exist with radiation variables or with  $\text{CO}_2$  assimilation in spinach and lettuce. This author points out that strong correlation should exist, since  $\text{CO}_2$  assimilation is subordinated to the stomatal activity, in the sense of maximizing the efficient use of water per unit of assimilated carbon. However, Zeiger and Field, (1982) demonstrated that stomatal opening can happen in an independent way, as much as of the activity of  $\text{CO}_2$  assimilation in the mesophyll, as of the internal  $\text{CO}_2$  concentration in the substomatal cavity.

Of the agronomic variables of tomato seedlings; height, stem diameter, leaf area and total dry weight, as well as the relative growth rate at the beginning of the samplings (12 days of seedlings' age) did not show significance in treatments (Table 3). Superiority was not

De las variables agronómicas de las plántulas de tomate, la altura, diámetro del tallo, área foliar y peso seco total, así como la tasa de crecimiento relativo al inicio de los muestreos (12 días de edad de las plántulas) no mostraron significancia en los tratamientos (Cuadro 3). Tampoco se observó superioridad en ninguno de los polietileno. Esto quizás se debe a que en las fases iniciales las plántulas requieren adaptarse a las condiciones ambientales y a la irradiación que están recibiendo. Según Decoteau y Friend (1991), las plántulas aún están en fase de adaptación para percibir la radiación ambiental, capturarla eficientemente y adaptarse a las fluctuaciones, con alteraciones fotomorfogénicas (aparición de hojas, tallos, raíz). Los cambios para todas las variables, hasta la segunda

observada en cualquiera de los polietileno. Esto puede ser debido a que en las fases iniciales, las plántulas requieren adaptación a las condiciones ambientales y a la irradiación que están recibiendo. Según Decoteau y Friend (1991) las plántulas aún están en la fase de adaptación para percibir la radiación ambiental, capturarla eficientemente y adaptarse a las fluctuaciones a través de alteraciones fotomorfogénicas (aparición de hojas, tallos, raíz). Los cambios para todas las variables, hasta la segunda evaluación, fueron de poca magnitud, ya que en esta etapa las tasas de crecimiento y desarrollo son más lentas (Tabla 3); pero hubo diferencias significativas entre los tratamientos y en los promedios, excepto en el área foliar y la tasa de crecimiento relativo.

El crecimiento de las plántulas, del 17 de abril al 24 de abril, fue tres o cuatro veces mayor que en el periodo anterior y

**Cuadro 3. Comportamiento promedio de las variables agronómicas en muestreos de plántulas de tomate en invernaderos cubiertos con diferentes polietileno.**

**Table 3. Average behavior of agronomic variables in samplings of tomato seedlings in greenhouses covered with different polyethylenes.**

Tratamiento	Variable	Fechas de muestreo			
		10/abril/00	17/abril/00	24/abril/00	01/mayo/00
Convencional	Altura (cm)	2.26 a <sup>†</sup>	3.25 a	10.59 a	22.74 a
CIQA-01		2.34 a	3.17 ab	10.45 a	21.75 ab
CIQA-02		2.37 a	3.08 b	9.15 b	20.03 b
C.V. (%)		2.90 NS	2.48 *	5.93 *	4.61 *
Convencional	Diámetro del tallo (mm)	1.55 a	2.06 a	3.08 a	3.62 a
CIQA-01		1.50 a	1.83 b	2.74 b	3.67 a
CIQA-02		1.52 a	1.95 ab	2.93 ab	3.65 a
C.V. (%)		4.50 NS	4.33 *	4.56 *	3.53 NS
Convencional	Área foliar (cm <sup>2</sup> planta <sup>-1</sup> )	3.05 a	9.67 a	33.34 ab	59.61 c
CIQA-01		2.85 a	9.51 a	36.82 a	85.13 a
CIQA-02		3.65 a	9.14 a	31.03 b	71.56 b
C.V. (%)		15.31 NS	9.89 NS	8.13 *	7.48 **
Convencional	Peso seco total (mg planta <sup>-1</sup> )	43.62 a	99.82 a	269.37 a	605.52 a
CIQA-01		42.43 a	86.21 b	244.14 ab	615.71 a
CIQA-02		41.72 a	90.35 ab	232.83 b	642.03 a
C.V. (%)		8.93 NS	5.43 *	6.52 *	6.98 NS
Convencional	Tasa de crecimiento relativo (RGR) (mg gr día <sup>-1</sup> )		118.1	141.8	115.4 b
CIQA-01			101.9	148.4	132.3 ab
CIQA-02			110.8	135.2	144.9 a
C.V. (%)			12.76 NS	8.62 NS	9.17 *

<sup>†</sup> Promedios seguidos de la misma letra, en las columnas, no son estadísticamente diferentes. (Tukey, p=0.05).

\*, \*\*, NS = Diferencias significativas (p=0.05), altamente significativas (p=0.01) y no significativas.

C.V. = Coeficiente de variación.

evaluación, fueron de pequeña magnitud, ya que en esta etapa las tasas de crecimiento relativo y el desarrollo son más lentos (Cuadro 3); pero hubo diferencias significativas entre tratamientos y en la comparación de medias, excepto en área foliar y tasa de crecimiento relativo.

El crecimiento de las plántulas, en el periodo del 17 al 24 de abril, fue tres o cuatro veces mayor que en el periodo anterior y con diferencias significativas entre tratamientos para todas las variables. Los promedios fueron numéricamente mayores para el polietileno convencional; sólo CIQA-01 sobresalió en área foliar, concordando también con una mayor tasa de crecimiento relativo para este tratamiento.

La mayor respuesta se puede atribuir a la incidencia de radiación y temperaturas más altas durante la semana precedente al muestreo, lo que provocó una mayor tasa de crecimiento relativo, que influyó directamente en la acumulación de biomasa y el desarrollo. Datos promedio, de 9:00 a 19:00 h de esa semana, muestran una RFA de

with significant differences among treatments for all variables. Averages were numerically higher for conventional polyethylene; only CIQA-01 stand out in leaf area, agreeing also with a larger relative growth rate for this treatment.

The greater response can be attributed to the radiation incidence and higher temperatures during the week before the sampling, causing a bigger relative growth rate that influenced directly biomass accumulation and development. Data average, from 9:00 to 19:00 h for that week, shows 627.52, 610.4 and 472.0  $\mu\text{m m}^{-2} \text{s}^{-1}$  PAR, and temperatures of 31, 30 and 29 °C for conventional, CIQA-02 and CIQA-01 polyethylenes, respectively; as compared to data preceding the second sampling (597.8, 523.5 and 425.9  $\mu\text{m m}^{-2} \text{s}^{-1}$  for PAR and 29, 28 and 26 °C for temperature).

In the last sampling of tomato seedlings (transplant age), although the control registered a greater photosynthetic rate (Table 2), it was not reflected in dry

**Cuadro 4. Comportamiento promedio en las variables agronómicas de plántulas de pimiento en invernaderos cubiertos con diferentes polietilenos.**

**Table 4. Average behavior of agronomic variables of pepper seedlings in greenhouses covered with different polyethylenes.**

Tratamientos	Variables	Fechas de muestreo				
		17/abril/00	24/abril/00	01/mayo/00	8/mayo/00	15/mayo/00
Convencional	Altura (cm)	2.37 b <sup>†</sup>	5.90 a	9.89 ab	13.73 a	18.17 a
CIQA-01		2.77 a	7.29 a	10.21 a	14.41 a	17.62 a
CIQA-02		2.27 b	4.25 a	9.14 b	13.53 a	17.97 a
C.V. (%)		3.93	30.01	5.27	5.12	3.03
		**	NS	*	NS	NS
Convencional	Diámetro del tallo (mm)	1.51 a	2.35 a	2.95 a	3.22 a	3.52 b
CIQA-01		1.52 a	2.01 b	2.79 a	3.15 a	3.76 a
CIQA-02		1.56 a	2.27 a	2.95 a	3.32 a	3.60 ab
C.V. (%)		4.58	5.29	3.06	3.13	3.14
		NS	**	NS	NS	*
Convencional	Área foliar (cm <sup>2</sup> ·planta <sup>-1</sup> )	3.98 b	17.34 a	30.90 b	43.82 a	64.53 a
CIQA-01		4.63 a	18.83 a	37.55 a	49.72 a	74.96 a
CIQA-02		3.48 c	16.49 a	33.45 a	48.50 a	72.11 a
C.V. (%)		6.24	7.85	6.68	7.08	9.53
		**	NS	**	NS	NS
Convencional	Peso seco total (mg·planta <sup>-1</sup> )	43.61 a	136.72 a	281.37 a	388.64 a	584.20 a
CIQA-01		42.43 a	108.63 b	230.73 b	362.21 a	535.32 a
CIQA-02		41.62 a	114.25 ab	285.52 a	409.07 a	612.61 a
C.V. (%)		8.93	9.87	4.41	6.78	10.38
		NS	*	**	NS	NS
Convencional	Tasa de crecimiento relativo (mg·gr.día <sup>-1</sup> )		188.3 a	103.1 a	46.1 b	64.4 a
CIQA-01			166.9 b	107.4 a	63.9 a	66.9 a
CIQA-02			167.5 b	132.0 a	51.2 b	65.7 a
C.V. (%)			5.94	13.82	18.12	20.95
			*	NS	*	NS

<sup>†</sup> Promedios seguidos de la misma letra, en las columnas, son estadísticamente iguales (Tukey, p=0.05).

C.V. = Coeficiente de variación.

\*, \*\*, NS = Diferencias significativas (p=0.05), altamente significativas (p=0.01) y no significativas.

627.52, 610.4 y 472.0  $\mu\text{m m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , y temperaturas de 31, 30 y 29 °C en el polietileno convencional, CIQA-02 y CIQA-01, respectivamente; en comparación con datos que preceden al segundo muestreo (597.8, 523.5 y 425.9  $\mu\text{m m}^{-2} \text{s}^{-1}$  de RFA y 29, 28 y 26 °C de temperatura).

En el último muestreo de las plántulas de tomate (edad de trasplante), aunque el testigo registró una tasa fotosintética mayor (Cuadro 2), ésta no se reflejó en la acumulación de materia seca, ya que el testigo tuvo el valor menor en peso seco total, en relación con CIQA-02 y CIQA-01. En cambio, plantas con mayor área foliar y menor fotosíntesis, pero con una tasa de crecimiento relativo mayor fueron más eficientes. Al final CIQA 01 y 02 registraron una menor altura, un tallo más grueso y mayor área foliar, lo que se tradujo en plántulas más vigorosas y compactas o de mayor calidad.

Según Geiger y Servaites, (1994); Lee *et al.*, (2000); Tognoni, (2000b) la radiación solar actúa como un factor determinante para el crecimiento y desarrollo de las plántulas, ya que variaciones en la tasa de fluencia y distribución espectral (cantidad, calidad y duración) dan lugar a cambios bioquímicos en los sistemas de captura de radiación, así como en la composición química de los tejidos y en los esquemas de desarrollo de la planta que finalmente alteran la distribución de biomasa hacia las hojas. Shaheen *et al.* (1995) evaluaron diferentes intensidades de radiación en invernadero plástico en plántulas de pimiento y tomate, e indican que conforme la radiación disminuye, también lo hacen la tasa de asimilación neta, el contenido de clorofila y el peso fresco y seco.

Por otro lado, una diferencia de pocos grados en la temperatura causa cambios significativos en la tasa de crecimiento. Choe *et al.* (1988) señalan que el peso seco y el área foliar son mayores a 28 que a 23 °C, de aquí que con polietileno CIQA-01 con promedios de 29 y 27.5 °C en las dos últimas semanas, las plántulas de tomate hayan tenido mayor área foliar y tasa de crecimiento relativo y diferencias altamente significativas entre tratamientos (Tukey,  $p=0.05$ ), (Cuadro 3).

En pimiento, en el segundo muestreo, el crecimiento de las plántulas fue muy similar al del tomate, pero con dos a cuatro veces mayor expresión de los parámetros de evaluación, lo cual se atribuyó a la mayor radiación y temperatura en la semana precedente al muestreo, lo que indujo una tasa alta de crecimiento relativo (Cuadro 4).

En este segundo muestreo las diferencias fueron altamente significativas para diámetro del tallo y significativas para peso seco total. El mayor peso seco total del testigo en el segundo muestreo concuerda con su mayor tasa de crecimiento relativo (Cuadro 4). En las siguientes evaluaciones los aumentos fueron graduales para cada semana, pero con una notoria disminución en la tasa de crecimiento relativo, hasta estabilizarse en los dos últimos muestreos, lo que puede justificar el desarrollo y

matter accumulation, since the control had the smallest value in total dry weight compared with CIQA-02 and CIQA-01. On the other hand, plants with more leaf area and less photosynthesis, but larger relative growth rate were more efficient. At the end, CIQA-01 and CIQA-02 registered a smaller heights, thicker stems and bigger leaf area, which was reflected in vigorous and compact seedlings of more quality.

According to Geiger and Servaites, (1994); Lee *et al.*, (2000); Tognoni, (2000b), solar radiation acts as a determinant factor for growth and development of the seedlings, since variations in fluency rate and spectral distribution (quantity, quality and duration) cause biochemical changes in the radiation capture systems, as well as in the tissues' chemical composition and in the plant development schemes that finally alter biomass distribution to leaves. Shaheen *et al.* (1995) evaluated different radiation intensities in plastic greenhouses in pepper and tomato seedlings; indicating that as the radiation diminishes, so do the rate of net assimilation, chlorophyll content and fresh and dry weights.

On the other hand, a difference of a few degrees in temperature, gives rise to significant changes in the growth rate. Choe *et al.* (1988) point out that the dry weight and leaf area are greater at 28 than at 23 °C, hence with CIQA-01 polyethylene with averages of 29 and 27.5 °C in the last two weeks, tomato seedlings had larger leaf area and relative growth rate and highly significant differences among treatments (Tukey  $p=0.05$ ) (Table 3).

In pepper, in the second sampling, seedlings' growth were similar to that of tomato, but with two to four times more expression of the evaluation parameters, which was attributed to the higher radiation and temperature in the week preceding the sampling, inducing a high relative growth rate (Table 4).

In this second sampling, differences were highly significant ( $p=0.05$ ) for stem diameter and significant for total dry weight and relative growth rate. Control's highest total dry weight in the second sampling agrees with its larger relative growth rate (Table 4). On the following evaluations, increases were gradual for every week, but with a notorious decrease in the relative growth rate, until it stabilized in the last two samplings, which can justify the slow development and accumulation of dry matter of pepper with respect to tomato, which has a totally different behavior under those environmental conditions.

In the last three pepper samplings, leaf area in CIQA-01 and CIQA-02 polyethylenes was higher than in the conventional treatment, justifying the larger relative growth rate in these treatments and similar accumulation of dry matter, even when photosynthetic activity of these treatments was smaller than in control (Table 2).

In the transplant stage (two last samplings), there were no significant differences among treatments, except for stem diameter. In the last stage, the smaller height and

acumulación de materia seca tan lento que tiene el pimiento con respecto al tomate, el cual tiene un comportamiento totalmente diferente bajo las mismas condiciones ambientales.

En los tres últimos muestreos de pimiento, el área foliar en los polietilenos CIQA-01 y CIQA-02 fue mayor que en el tratamiento convencional, lo que justifica la mayor tasa de crecimiento relativo en estos tratamientos y la similar acumulación de materia seca, aun cuando la actividad fotosintética de estos tratamientos haya sido menor que en el testigo (Cuadro 2).

En la etapa de trasplante (dos últimos muestreos) no hubo diferencias significativas entre tratamientos, excepto para diámetro de tallo. En la última etapa, la menor altura y mayor diámetro del tallo se consideran ventajosos para los polietilenos CIQA, ya que las plántulas mostraron más vigor y resistencia. Se tuvo mayor tasa de fotosíntesis en el polietileno convencional (Cuadro 2.), pero la acumulación de materia seca fue mayor en CIQA-02.

Un análisis comparativo de las variables evaluadas en las dos especies, indicó que hay diferencias en su expresión entre 50 y 60% menores en pimiento que en tomate, excepto en el diámetro del tallo con sólo 8%. La más baja velocidad de crecimiento en pimiento se debió a la reducida área foliar y a que las hojas son más delgadas que en tomate, teniendo por lo tanto tasas de crecimiento relativo más bajas (Cuadros 3 y 4); además de menor capacidad fotosintética (Cuadro 2), lo que finalmente se tradujo en una mayor acumulación de biomasa en tomate que en pimiento al momento del trasplante, y en 15 días menos desde la siembra hasta que las plantas estuvieron aptas para trasladarse al campo.

### CONCLUSIONES

Las películas termorreguladoras CIQA-02 y CIQA-01 modificaron en mayor grado la cantidad de radiación incidente en el interior de los invernaderos con respecto a la película comercial. CIQA-02 y 01 tuvieron una transmisión de radiación fotosintéticamente activa de 56 y 42%, y el testigo de 59%. La temperatura diaria promedio en el dosel de las plántulas fue menor en 0.5 y 1.5 °C para CIQA-02 y CIQA-01 comparadas con el testigo. En las horas de máxima irradiación las diferencias fueron mayores, disminuyendo 1.5 y 1.85 °C para el mismo orden de tratamientos. Los cambios en la irradiación ocasionados por las películas se expresaron en diferencias de asimilación de CO<sub>2</sub>; con los polietilenos CIQA-02 y CIQA-01 el tomate tuvo reducciones de 24 y 38% y el chile de 29 y 33%, en comparación con el testigo. Asimismo, la resistencia estomática fue mayor en las películas CIQA, con una diferencia promedio para tomate de 0.2175 m s<sup>-1</sup> y en chile de 0.1152 m s<sup>-1</sup>, en relación con el testigo. La radiación y temperatura alteraron el crecimiento

larger stem diameter is considered advantageous for CIQA polyethylenes, since the seedlings showed more vigor and resistance. There was a higher photosynthetic rate on the conventional polyethylene (Table 2), but dry matter accumulation was higher in CIQA-02.

A comparative analysis of the evaluated variables in both species, indicated differences in their expression between 50 and 60% smaller in pepper than in tomato; except in stem diameter with only 8%. The lower growth speed in pepper was due to the reduced leaf area and thinner leaves in tomato, yielding therefore lower relative growth rates (Tables 3 and 4); and smaller photosynthetic capacity (Table 2), finally translated in a bigger biomass accumulation in tomato than in pepper to the transplant age, and a 15 days reduction in the time from sowing to field translation.

### CONCLUSIONS

Thermoregulators films CIQA-02 and CIQA-01 modified in a higher degree than the commercial film the quantity of incident radiation inside the greenhouses. CIQA-02 and 01 showed a transmission of photosynthetically active radiation of 56 and 42%, and the control one of 59%. The average daily temperature in the seedlings canopy was smaller in 0.5 and 1.5 °C for CIQA-02 and CIQA-01, compared with the control. In the maximum irradiation hours, the differences were larger, diminishing 1.5 and 1.85 °C for the same order of treatments. Changes on irradiation caused by the films were expressed as differences of CO<sub>2</sub> assimilation. With CIQA-02 and CIQA-01 polyethylenes, tomato showed reductions of 24 and 38%, and pepper of 29 and 33%, compared with the control. Likewise, stomatal resistance was higher in the CIQA films, with an average difference of 0.2175 m s<sup>-1</sup> for tomato and of 0.1152 m s<sup>-1</sup> for pepper, in relation to the control. Radiation and temperature altered growth and biomass accumulation of pepper and tomato seedlings, manifested in height, stem diameter, leaf area and dry weigh. The larger CO<sub>2</sub> assimilation in the control plants did not reflect in more biomass accumulation, since the relative growth rates of CIQA-01 and CIQA-02, treatments with bigger leaf area, were superior to those of the control.

—End of the English version—



y acumulación de biomasa de las plántulas de pimiento y tomate, lo que se manifestó en altura, diámetro del tallo, área foliar y peso seco. La mayor asimilación de CO<sub>2</sub> en las plantas del testigo no se reflejó en mayor acumulación

de biomasa, debido a que las tasas de crecimiento relativo de los tratamientos CIQA-01 y CIQA-02, por tener mayor área foliar, fueron superiores a las del testigo.

### LITERATURA CITADA

- Alpi, A. y F. Tognoni. 1991. Cultivo en Invernadero. Orientación Científica y Tecnológica. 3ª ed. Ed. Mundi Prensa. España. 347 p.
- Cerny, A. T., N. C. Rajapakse, and O. Y. Ryu. 1999. Recent development in photoselective greenhouse covers. *In: Proc. Nat. Agric. Plastics Congress. American Society for Plasticsulture. May 19-22, 1999. Tallahassee, Florida. pp. 75-80.*
- Choe, J. S., W. S. Lee, M. Nagaoka, G. Dakahashi, S. C. Joo, and S. L. Woo. 1988. The effect of temperature and light intensity during the nursery stage on *Capsicum annuum* seedling quality. *Research Reports of the Rural Development Administration Horticulture. 30 (3): 1-15.*
- Cockshull, K. E., C. J. Graves, and C. R. K. Cave. 1992. The influence of shading on yield of glasshouse tomatoes. *J. Hort. Sci. 67 (1): 11-24.*
- Decoteau, D. R. and H. H. Friend. 1991. Growth and subsequent yield of tomatoes following end of day light treatment of transplants. *HortSci. 26 (12): 1528-1530.*
- Geiger, D. R. and J. C. Servaites. 1994. Diurnal regulation of photosynthetic carbon metabolism in C<sub>3</sub> plants. *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 45: 235-256.*
- Jovicich, E., D. J. Cantliffe, and G. J. Hochmuth. 1999. Plant density and shoot pruning on yield and quality of a summer greenhouse sweet pepper crop in North Central Florida. *In: Proc. Nat. Agric. Plastics Congress. American Society for Plasticsulture. May 19-22, 1999. Tallahassee, Florida. pp. 184-190.*
- Krug, H. 1997. Environmental influences on development, growth and yield. *In: The Physiology of Vegetable Crops. Cap. 4. Editor H.C. Wien. Editorial CAB International. pp: 101-179.*
- Lee, D. W., S. F. Oberbauer, P. Johnson, B. Krishnapilay, M. Mansor, H. Mohamad, and S. K. Yap. 2000. Effects of irradiance and spectral quality on leaf structure and function in seedlings of two Southeast Asian *hopea* (Dipterocarpaceae) species. *American Journal of Botany. 87(4): 447-455.*
- Matallana G., A. y J. I. Montero C. 1995. Invernaderos: Diseño, Construcción y Climatización. 2ª ed. Ed. Ediciones Mundi Prensa. México. 209 p.
- Mc Avoy, R. J. and H. W. Janes. 1990. Cumulative light effects on growth and flowering of tomato seedlings. *J. Amer. Soc. Hort. Sci. 115(1): 119-122.*
- Moens, F. 1991. The use of surface active additives as anti-fog agents in agricultural films. *In: Proc. Nat. Agric. Plastics Congress. American Society for Plasticsulture. Mobile, Alabama. Sep. 29-Oct. 3, 1991. pp: 188-195.*
- Orzolek, M. D. and W. S. Lamont. 1999. The Penn State Center for Plasticsulture. *In: Proc. Nat. Agric. Plastics Congress American Society for Plasticsulture. May 19-22, 1999. Tallahassee, Florida. pp. 24-26.*
- Ryu, O. Y., M. O. Kohgo, M. Iwata, and S. Ikado. 1999. Practical approach for photoselective plastics. *In: Proc. Nat. Agric. Plastics Congress. American Society for Plasticsulture. May 19-22, 1999. Tallahassee, Florida. 80 p.*
- Shaheen, A. M., R. M. Helal, N. M. Omar, and A. Mahmoud. 1995. Seedling production of some vegetables under plastic houses at different levels of light intensities. *Egyptian Journal of Horticulture. 22 (2): 175-192.*
- Smith, H. 1995. Physiological and ecological function within the phytochrome family. *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 46: 289-315.*
- Tognoni, F. 2000a. Temperatura. *In: Memoria del Curso Internacional de Ingeniería, Manejo y Operación de Invernaderos para la Producción Intensiva de Hortalizas. Instituto Nacional de Capacitación para la Productividad Agrícola (INCAPA, S.C.). 21-26 de Agosto de 2000. Guadalajara, Jal., México. pp: 12-27.*
- Tognoni, F. 2000b. Radiación. *In: Memoria del Curso Internacional de Ingeniería, Manejo y Operación de Invernaderos para la Producción Intensiva de Hortalizas. Instituto Nacional de Capacitación para la Productividad Agrícola (INCAPA, S.C.). 21-26 de Agosto de 2000. Guadalajara, Jal., México. pp: 38-43.*
- Wien, H. C. 1997. Transplanting. *In: The Physiology of Vegetable Crops. H.C. Wien (Ed.) Editorial CAB International. pp: 37-69.*
- Zeiger, E.; C. Field. 1982. Photocontrol of the functional coupling between photosynthesis and stomatal conductance in the intact leaf. *Plant Physiol. 70: 370-375.*