



Ingeniería agrícola y biosistemas

ISSN: 2007-3925

ISSN: 2007-4026

Universidad Autónoma Chapingo

Mendoza-Pérez, Cándido; Ramírez-Ayala, Carlos;
Ojeda-Bustamante, Waldo; Flores-Magdaleno, Héctor
Estimation of leaf area index and yield of greenhouse-grown poblano pepper
Ingeniería agrícola y biosistemas, vol. 9, no. 1, 2017, January-June, pp. 37-50
Universidad Autónoma Chapingo

DOI: <https://doi.org/10.5154/r.inagbi.2017.04.009>

Available in: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=688672140003>

- How to cite
- Complete issue
- More information about this article
- Journal's webpage in [redalyc.org](https://www.redalyc.org)

UAEM [redalyc.org](https://www.redalyc.org)

Scientific Information System Redalyc
Network of Scientific Journals from Latin America and the Caribbean, Spain and
Portugal

Project academic non-profit, developed under the open access initiative

Estimation of leaf area index and yield of greenhouse-grown poblano pepper

Estimación de índice de área foliar y rendimiento de chile poblano cultivado en invernadero

Cándido Mendoza-Pérez^{1*}; Carlos Ramírez-Ayala¹;
Waldo Ojeda-Bustamante²; Héctor Flores-Magdaleno¹

¹Colegio de Postgraduados. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, México, C. P. 56230, MÉXICO.

²Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Paseo Cuauhnáhuac núm. 8535, colonia Progreso, Jiutepec, Morelos, C. P. 62550, MÉXICO.

*Corresponding author: mendoza.candido@colpos.mx

Abstract

Leaf area index (LAI) is a useful variable to characterize crop dynamics, productivity and water requirements. The three-fold aim of this work was to estimate the LAI of poblano pepper (*Capsicum annuum* L.) with a ceptometer, compare the results with the destructive method and analyze the relationship between the LAI and crop yield. The experiment was carried out in a greenhouse at the Colegio de Postgraduados, Montecillo campus. The transplant date was April 21 and the harvest ended on November 11, 2014. Tezontle was used as substrate and drip irrigation was applied. The experiment consisted of three treatments (T): T1 (two stems), T2 (three stems) and T3 (without pruning). To estimate the LAI, a ceptometer was used to measure the radiation intercepted above and below the canopy. Leaf area was measured with the LI-3100C area meter. Results indicated that the maximum LAI occurred at flowering, corresponding to 2,096 growing degree days (GDD) with 0.93, 1.2 and 2.75 for T1, T2 and T3. Estimating LAI with a ceptometer proved to be a suitable and reliable method, since the linear correlation coefficient (R^2) obtained between the two methods was 0.82, 0.94 and 0.99, for T1, T2 and T3, respectively. The yield obtained was 10.74, 8.28 and 5.49 kg·m⁻² for T3, T2 and T1, respectively. Increasing the number of stems per plant increased LAI, yield and number of fruits; however, fruit size decreased.

Keywords: ceptometer,
leaf area meter,

photosynthetically active
radiation, *Capsicum annuum* L.

Resumen

El índice de área foliar (IAF) es una variable útil para caracterizar la dinámica, productividad y requerimientos hídricos de cultivos. El objetivo de este trabajo fue estimar el IAF de chile poblano (*Capsicum annuum* L.) con un interceptómetro y comparar los resultados con el método destructivo; además, analizar la relación que existe entre el IAF y el rendimiento del cultivo. El experimento se realizó en un invernadero del Colegio de Postgraduados, campus Montecillo. La fecha de trasplante fue el 21 de abril y finalizó la cosecha el 11 de noviembre de 2014, para lo cual se empleó tezontle como sustrato y riego por goteo. El experimento consistió en tres tratamientos (T): T1 (dos tallos), T2 (tres tallos) y T3 (sin poda). Para estimar el IAF se utilizó un interceptómetro; el cual mide la radiación interceptada por encima y por debajo del dosel. Se midió el área foliar con el integrador LI-3100C. Los resultados indicaron que el máximo IAF se presentó en floración, que corresponde a los 2,096 grados día desarrollo (°DD) con 0.93, 1.2 y 2.75 para T1, T2 y T3. La estimación del IAF con el interceptómetro mostró ser un método adecuado y confiable, ya que el coeficiente de correlación lineal (R^2) obtenido entre ambos métodos fue de 0.82, 0.94 y 0.99, para T1, T2 y T3, respectivamente. Por su parte, el rendimiento obtenido fue de 10.74, 8.28 y 5.49 kg·m⁻² para T3, T2 y T1, respectivamente. Al aumentar el número de tallos por planta incrementó el IAF, el rendimiento y número de frutos; sin embargo, el tamaño de frutos disminuyó.

Palabras clave:

interceptómetro, integrador
de área foliar, radiación
fotosintéticamente activa,
Capsicum annuum L.

Please cite this article as follows (APA 6): Mendoza-Pérez, C., Ramírez-Ayala, C., Ojeda-Bustamante, W., & Flores-Magdaleno, H. (2017). Estimation of leaf area index and yield of greenhouse-grown poblano pepper. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, 9(1), 37-50. doi: <http://dx.doi.org/10.5154/r.inagbi.2017.04.009>



Ingeniería Agrícola
y Biosistemas

Introduction

Pepper is a vegetable grown year-round in almost all of Mexico, and is one of the main fruit and vegetable products consumed. An estimated 80 % of pepper production is for the domestic market, which determines its importance as food. In addition to possessing minerals and vitamins, it is a condiment that is included in most Mexican dishes. The most widely cultivated species of pepper is *Capsicum annuum* L. (jalapeño, serrano, pasilla, guajillo, poblano, red pepper; Aguilar-Rincón, 2012).

Leaf area index (LAI) is a key variable to study crop development and growth. In addition, it is the basis for estimating water, nutritional and bioenergy efficiency requirements, and to determine potential phytosanitary damage. There is a close relationship between LAI and the interception of solar radiation, associated with photosynthesis and transpirative processes, aspects strongly linked to biomass accumulation and productivity. Therefore, LAI is a useful variable for quantifying the growth and agronomic yield of crops (Elings, 2000; Hernández-Hernández et al., 2011).

Direct LAI determination is generally destructive and requires instruments to integrate the leaf area (White, Asner, Nemani, Privette, & Running, 2000). As a variant of this method, Ovando (1999) and Rodríguez (2000) used digital photographs and image interpretation techniques to measure leaf area and determine LAI in potato. On the other hand, there are indirect non-destructive methods that allow rapid measurement in the field; the operating principle of these methods is the close relationship between radiation penetration and canopy structure.

The electromagnetic spectrum region of greatest agricultural interest is photosynthetically active radiation (PAR), whose wavelength is between 400 and 700 nm. Because plants perform photosynthesis and PAR is their energy source, knowing the spatial and temporal distribution of crop PAR interception is essential for the analysis of associated biological processes (Grossi-Gallegos, 2004).

De la Casa et al. (2008) used a ceptometer in potato and obtained promising results when comparing the LAI estimates with measurements obtained from digital photographs. Steven, Biscoe, Jaggard, and Paruntu (1986) showed that the ratio between the fraction of the intercepted photosynthetically active solar radiation ($fIPAR$) and the cover percentage (f) in several crops is sufficiently close to 1:1, which makes it possible to estimate $fIPAR$ from cover, which is an easier measurement to obtain. Other researchers estimated the LAI in wheat and rice using Beer's law (Monsi & Saeki, 1953).

Introducción

El chile es una hortaliza que se cultiva todo el año en casi todo México, y es uno de los principales productos hortofrutícolas de consumo. El 80 % de la producción de chile es para el mercado interno; lo que determina su importancia como alimento. Además de poseer minerales y vitaminas, es un condimento que se presenta en la mayoría de los platillos mexicanos. La especie de chile que más se cultiva es *Capsicum annuum* L. (jalapeño, serrano, pasilla, guajillo, poblano, pimienta morrón; Aguilar-Rincón, 2012).

El índice de área foliar (IAF) es una variable fundamental para estudiar el desarrollo y crecimiento de cultivos. Además, es la base para estimar los requerimientos hídricos, nutricionales, eficiencia bioenergética y para determinar potencial de daños fitosanitarios. Existe una estrecha relación entre el IAF y la interceptación de la radiación solar, asociada con la fotosíntesis y con los procesos transpirativos; aspectos fuertemente vinculados con la acumulación de biomasa y la productividad. Por lo tanto, el IAF es una variable para cuantificar el crecimiento y rendimiento agronómico de los cultivos (Elings, 2000; Hernández-Hernández et al., 2011).

La determinación directa del IAF es, por lo general, destructiva y requiere de instrumentos para integrar la superficie foliar (White, Asner, Nemani, Privette, & Running, 2000). Como una variante de este método, Ovando (1999) y Rodríguez (2000) utilizaron fotografías digitales y técnicas de interpretación de imágenes para medir la superficie foliar y determinar el IAF en papa. Por otra parte, existen métodos indirectos no destructivos que permiten realizar una medición rápida en campo, cuyo principio de funcionamiento es la relación estrecha entre la penetración de la radiación y la estructura del dosel.

La región del espectro electromagnético de mayor interés agrícola es la radiación fotosintéticamente activa (RFA), cuya longitud de onda está entre 400 y 700 nm. Debido a que las plantas realizan fotosíntesis y que la RFA es su fuente de energía, conocer la distribución espacial y temporal de la interceptación de la RFA de los cultivos es fundamental para el análisis de los procesos biológicos asociados (Grossi-Gallegos, 2004).

De la Casa et al. (2008) utilizaron el interceptómetro en papa y obtuvieron resultados promisorios al comparar las estimaciones del IAF con mediciones obtenidas de fotografías digitales. Steven, Biscoe, Jaggard, y Paruntu (1986) mostraron que la relación entre la fracción de la radiación solar fotosintéticamente activa interceptada ($fIPAR$) y el porcentaje de cobertura (f) en varios cultivos es suficientemente próxima a 1:1; lo que permite estimar $fIPAR$ a partir de la cobertura, que es una medición más fácil de obtener. Otros investigadores

There is limited information on the development and growth of poblano pepper for the purposes of irrigation and nutrient scheduling. One of the variables of agronomic management associated with its productivity is the number of stems. The greater the number of stems, the greater the leaf area; however, production, in terms of quantity and quality, may be affected. Therefore, it is necessary to know the development behavior of the crop under different management conditions for the purposes of irrigation and nutrition scheduling.

The aim of this study was to estimate the leaf area index of poblano pepper (*Capsicum annuum* L.) with a ceptometer, compare the results with the destructive method to determine if the former is a reliable method, and analyze the relationship that exists between the LAI and crop yield.

Materials and methods

Description of the experiment

The experiment was carried out in a greenhouse at the Colegio de Postgraduados, Montecillo campus, State of Mexico (19.96 ° North latitude and 98.90 ° West longitude, at 2,244 masl). The greenhouse used was a triple tunnel with metal structures, covered with polyethylene plastic with 75 % transmissivity and anti-insect mesh on the side walls. In addition, it had a passive ventilation system through side vents and manually-opened skylights.

The cultivation of indeterminate-growth poblano pepper variety Capulín F1 was studied. It was planted in trays on February 21, transplanted on April 21 and the harvest ended on November 11, 2014. The planting framework was staggered, with a separation of 35 cm between plants and 45 cm between lines. The seedlings were transplanted in 35 x 35 cm plastic bags containing red tezontle.

The treatments (T) consisted of three management conditions based on the number of stems per plant: T1 (two stems), T2 (three stems) and T3 (without pruning). In T1 and T2, the main stem and the secondary ones were allowed to grow. T3 was allowed to grow uncontrolled in number of stems.

The area of each treatment was 53 m², together covering a total area of 159 m². Each main treatment was established in plots with two beds of 20 m in length, spaced 1.35 m apart. A planting density of 3 plants·m⁻² was used. According to the usual modality in the region, the average density used ranges from 3 to 5 plants·m⁻². Treatments were distributed in split plots (10 m² each) in randomized blocks with four replicates.

estimaron el IAF en trigo y arroz con la ecuación de extinción lumínica de Beer (Monsi & Saeki, 1953).

Existe información limitada sobre el desarrollo y crecimiento del cultivo de chile poblano con fines de calendarización de riego y nutrientes. Una de las variables de manejo agronómico asociadas a su productividad es el número de tallos. A mayor número de tallos, mayor área foliar; sin embargo, la producción, en cantidad y calidad, puede verse afectada. Por lo que se requiere conocer el comportamiento de desarrollo del cultivo bajo diferentes condiciones de manejo con fines de calendarización de riego y nutrición.

El objetivo de este trabajo fue estimar el índice de área foliar de chile poblano (*Capsicum annuum* L.) con un interceptómetro y comparar los resultados con el método destructivo para determinar si el primero es un método confiable; además, analizar la relación que existe entre el IAF y el rendimiento del cultivo.

Materiales y métodos

Descripción del experimento

El experimento se realizó en un invernadero del Colegio de Postgraduados, campus Montecillo, Estado de México (19.96 ° latitud norte y 98.90 ° longitud oeste, a 2,244 m de altitud). El invernadero utilizado fue de triple túnel con estructuras de metal, cubiertas de plástico de polietileno con 75 % de transmisividad y malla anti-insecto en las paredes laterales. Adicionalmente, tenía un sistema de ventilación pasiva a través de ventilas laterales y cenitales de apertura manual.

Se estudió el cultivo de chile poblano variedad Capulín F1 de crecimiento indeterminado. Se sembró en charolas el 21 de febrero, se trasplantó el 21 de abril y finalizó la cosecha el 11 de noviembre de 2014. El marco de plantación fue a tresbolillo, con separación de 35 cm entre plantas y 45 cm entre líneas. Las plántulas se trasplantaron en bolsas maceteras plásticas de 35 x 35 cm con tezontle rojo.

Los tratamientos (T) consistieron en tres condiciones de manejo en función de número de tallos por planta: T1 (dos tallos), T2 (tres tallos) y T3 (sin poda). En el T1 y T2 se dejó crecer el tallo principal y los secundarios. El T3 se dejó crecer sin control en número de tallos.

El área de cada tratamiento fue de 53 m², llegando a establecer una superficie total de 159 m². Cada tratamiento principal se estableció en parcelas de dos camas de 20 m de longitud, separados a 1.35 m. Se utilizó la densidad de siembra de 3 plantas·m⁻². De acuerdo a la modalidad habitual en la región, la densidad media utilizada oscila entre 3 y 5 plantas·m⁻².

A drip irrigation system was used, with a surface irrigation line of 16 mm in diameter. Each line had separate self-compensating drippers at 40 cm and a flow of 4 L·h⁻¹ per dripper, with an operating pressure of 0.7 kg·cm⁻². Irrigation was applied throughout the growing season. In the first 30 days after transplanting (dat), five irrigations were applied per day (10:00, 12:00, 13:00, 14:00 and 15:00 h) with duration of 3 min. They were then increased to eight irrigations (9:00, 10:00, 11:00, 12:00, 13:00, 14:00, 15:00 and 16:00 h) with duration of 4 min.

Description of the method of estimating leaf area index with a ceptometer

LAI measurement was performed with an AccuPAR LP-80 ceptometer (RFA/IAF Ceptometer, Decagon Devices, Pullman, Washington, USA), which estimates PAR under field conditions using a 1-m-long bar with 80 sensors divided into eight segments. Readings were taken every 15 days from 50 dat (date on which stem number division and treatments began) to the last fruit harvest (November 11, 2014). Six replicates were performed per treatment, above and below the canopy. The intercepted PAR values were estimated from two positional radiation levels, one above the foliage to obtain the incident PAR (PAR_a) and the other under the foliage to obtain PAR reaching the ground (PAR_d) in μmol·m⁻²·s⁻¹ (Equation 1).

$$PAR = \frac{PAR_d}{PAR_a} \quad (1)$$

Once PAR was obtained, it was combined with other variables, such as the leaf angle distribution factor, beam zenith angle and the extinction coefficient for radiation, and an adjustment was made to estimate the LAI of the plant according to Equation 2 proposed by Campbell and Norman (1989).

$$LAI = \frac{\left[\left(1 - \frac{1}{2K} \right) Fb - 1 \right] \ln \left(\frac{LAI_d}{LAI_a} \right)}{A (1 - 0.47 Fb)} \quad (2)$$

Where K is the extinction coefficient for radiation, which when considering a spherical angular distribution parameter $\kappa = 1$, fb is the fraction of direct radiation with respect to global solar radiation (0.25) and A is a general absorption coefficient of the canopy that is equal to 0.86 (Campbell & Norman, 1989).

Measurements with the ceptometer were performed only under clear sky conditions and during the period of maximum insolation (the hours close to noon). In this way, the zenith angle was the lowest possible and the fb always corresponded to high fractions of direct solar radiation, which allowed homogenizing the data. To compare the LAI data obtained with the ceptometer, leaf area measurements were made with the destructive method. This method consisted of

La distribución de los tratamientos se hizo en parcelas divididas (10 m² cada una) en bloques al azar con cuatro repeticiones.

Se utilizó el sistema de riego por goteo, con línea regante superficial de 16 mm en diámetro. Cada línea tenía goteros autocompensados separados a 40 cm y un gasto de 4 L·h⁻¹ por gotero, con presión de operación de 0.7 kg·cm⁻². El riego se aplicó durante todo el ciclo de cultivo. En los primeros 30 días después de trasplante (ddt) se aplicaron cinco riegos al día (10:00, 12:00, 13:00, 14:00 y 15:00 h) con duración de 3 min. Después se incrementaron a ocho riegos (9:00, 10:00, 11:00, 12:00, 13:00, 14:00, 15:00 y 16:00 h) con duración de 4 min.

Descripción del método de estimación de índice de área foliar con interceptómetro

La medición del IAF se realizó con un interceptómetro AccuPAR LP-80 (RFA/IAF Ceptometer, Decagon Devices, Pullman, Washington, USA); el cual estima la RFA bajo condiciones de campo usando una barra de 1 m de largo con 80 sensores divididos en ocho segmentos. Se tomaron lecturas cada 15 días a partir de 50 ddt (fecha en que inició la división de número de tallos y los tratamientos), hasta la última cosecha de frutos (11 de noviembre de 2014). Se realizaron seis repeticiones por tratamiento, por encima y debajo del dosel. Los valores de la RFA interceptada se estimaron a partir de dos niveles posicionales de la radiación, uno encima del follaje para obtener la RFA incidente (RFA_a) y otro debajo del follaje para obtener la RFA que llega al suelo (RFA_d) en μmol·m⁻²·s⁻¹ (Ecuación 1).

$$RFA = \frac{RFA_d}{RFA_a} \quad (1)$$

Una vez obtenida la RFA, se combinó con otras variables, como el factor de distribución del ángulo de las hojas, ángulo cenital solar y el coeficiente de extinción de la radiación, y se realizó un ajuste para estimar el IAF de la planta de acuerdo con la Ecuación 2 propuesta por Campbell y Norman (1989).

$$IAF = \frac{\left[\left(1 - \frac{1}{2K} \right) Fb - 1 \right] \ln \left(\frac{RFA_d}{RFA_a} \right)}{A (1 - 0.47 Fb)} \quad (2)$$

Donde K es el coeficiente de extinción de la radiación, que al considerar un parámetro de distribución angular esférico $\kappa = 1$, fb es la fracción de la radiación directa con respecto a la radiación solar global (0.25) y A es un coeficiente de absorción general del dosel que resulta igual a 0.86 (Campbell & Norman, 1989).

Las mediciones con el interceptómetro se realizaron solo bajo condiciones de cielo despejado y durante el periodo de máxima insolación (las horas próximas al mediodía). De esta forma, el ángulo cenital fue el menor posible y el fb correspondió siempre a fracciones

extracting the plant from the pot, then separating the leaves and measuring the leaf area with an electronic area meter (Area Meter Model LI-3100, Decagon Device, Inc). They were performed in four replicates of each treatment. Finally, the LAI of the plant was calculated with Equation 3, described by (Reis, de Azevedo, Albuquerque, & Junior, 2013).

$$LAI = \frac{LA \times NP}{TA} \quad (3)$$

Where the LAI is in $m^2 \cdot m^{-2}$, LA is the average leaf area of three plants (m^2), NP is the number of plants per m^2 and TA is the total area considered ($1 m^2$).

Description of variables

For dry weight, stem, root, leaf and fruit parts were separated, weighed fresh, then placed in a drying oven at $70^\circ C$ for 72 h for dehydration and finally weighed again.

Temperature ($^\circ C$) and relative humidity (%) were measured with a sensor located on a data logger (Data Logger Hobo U12-011) that was installed inside the greenhouse in the central part, 2 m from the ground.

The development of many organisms is mainly controlled by the temperature of the environment. Growing degree days (GDD) are an indirect measure of the growth and development of plants and insects. They represent the integration of the ambient temperature between two threshold temperatures, which define the interval at which an organism is active. Outside this range, the organism does not show appreciable development or can die.

The GDD concept resulted from observations indicating: 1) there is a base temperature below which plants do not grow (Neild & Smith, 1997), 2) the rate of growth increases with temperature above this base, 3) poblano pepper varieties require different values of accumulated days (AD) of the degree days (DD). The accumulated values for n days elapsed are expressed by Equation 4.

$$AD = \sum_{i=1}^n DD_i \quad (4)$$

Where i is the number of days elapsed from an initial day of interest, usually the date of planting or the start date for a crop phonological stage.

To estimate daily GDD with this method requires the average environmental temperature (Equation 5; Ojeda-Bustamante, Sifuentes-Ibarra, Slack, & Carrillo, 2004).

$$\begin{aligned} GDD &= T_a - T_{c-min}, \text{ if } T_a < T_{c-max} \\ GDD &= T_{c-max} - T_{c-min}, \text{ if } T_a \geq T_{c-max} \\ GDD &= 0, \text{ if } T_a \leq T_{c-min} \end{aligned} \quad (5)$$

elevadas de radiación solar directa; lo que permitió homogeneizar los datos.

Para comparar los datos del IAF obtenidos con el interceptómetro, se realizaron mediciones de área foliar con el método destructivo. Este método consistió en extraer la planta de la maceta, después separar las hojas y medir el área foliar con un medidor electrónico (Área Meter Modelo LI-3100, Decagon Device, Inc). Se realizaron en cuatro repeticiones de cada tratamiento. Finalmente, se calculó el IAF de la planta con la Ecuación 3, descrita por (Reis, de Azevedo, Albuquerque, & Junior, 2013).

$$IAF = \frac{AF \times NP}{AT} \quad (3)$$

Dónde el IAF se encuentra en $m^2 \cdot m^{-2}$, AF es la superficie media de hoja de tres plantas (m^2), NP es el número de plantas por m^2 y AT es el área considerada total de ($1 m^2$).

Descripción de las variables

Para el peso seco, se separaron las partes de tallo, raíz, hojas y frutos, se pesaron en fresco y posteriormente se colocaron en un horno de secado a $70^\circ C$ por 72 h para su deshidratación y finalmente se pesaron.

La temperatura ($^\circ C$) y humedad relativa (%) se midieron con un sensor localizado en una tarjeta de adquisición de datos (Data Logger Hobo U12-011) que se instaló dentro del invernadero en la parte central, a 2 m del suelo.

El desarrollo de muchos organismos es controlado principalmente por la temperatura del ambiente. Los grados día desarrollo ($^\circ DD$) son una medida indirecta del crecimiento y desarrollo de plantas e insectos. Estos representan la integración de la temperatura ambiental entre dos temperaturas limitantes; las cuales definen el intervalo en el cual un organismo se encuentra activo. Fuera de este intervalo, el organismo no presenta desarrollo apreciable o puede morir.

El concepto de $^\circ DD$ resultó de observaciones que indicaban: 1) las plantas no se desarrollan cuando la temperatura ambiental es menor que la basal (Neild & Smith, 1997), 2) la tasa de desarrollo aumentaba cuando la temperatura ambiental era mayor que la basal, 3) las variedades de chile poblano requieren diferentes valores de días acumulados (DA) de los grados día ($^\circ D$). Los valores acumulados para n días transcurridos se expresan con la Ecuación 4.

$$DA = \sum_{i=1}^n {}^\circ D_i \quad (4)$$

Donde i es el número de días transcurridos a partir de un día inicial de interés, usualmente la fecha de siembra o el día de inicio de una etapa fenológica del cultivo.

Where T_a is the daily air temperature, and T_{c-max} and T_{c-min} are the minimum and maximum ambient temperatures, which are the thresholds at which poblano pepper grows (29 to 10 °C; Roose, 1994).

On the other hand, to estimate yield and number of fruits, eight plants were selected per treatment.

Results and discussion

Photosynthetically active radiation

The PAR intercepted above the canopy is relatively constant throughout the cycle, compared to radiation penetrating below the canopy. It is observed that at 1,167 accumulated degree days (ADD), which corresponds to 37 dat, the amount of radiation reaching the lower leaves begins to decrease, indicating an increase in the leaf area of the plant. As the days go by, the degree of PAR interception increases. Most of the radiation that arrives above the foliage is used by the plant to perform all processes related to photosynthesis (Figure 1). This behavior is similar in the three treatments, with respect to the radiation that arrives below the canopy, and begins to vary from 1,000 ADD due to the increase in leaf area.

In T3 it was found that at the end of the cycle the radiation reaching below the canopy is scarce. This is because no foliage control was performed, resulting in a greater degree of PAR interception. These data are consistent with the results obtained by Leguizamón and Verdelli (2011) in corn and soybean grown under field conditions.

Para estimar diariamente los °DD con este método se requiere de la temperatura media ambiental (Ecuación 5; Ojeda-Bustamante, Sifuentes-Ibarra, Slack, & Carrillo, 2004).

$$\begin{aligned} \text{°DD} &= T_a - T_{c-min}, \text{ si } T_a < T_{c-max} \\ \text{°DD} &= T_{c-max} - T_{c-min}, \text{ si } T_a \geq T_{c-max} \\ \text{°DD} &= 0, \text{ si } T_a \leq T_{c-min} \end{aligned} \quad (5)$$

Dónde T_a es la temperatura del aire diario, T_{c-max} y T_{c-min} son las temperaturas mínima y máxima del ambiente; las cuales son los umbrales en que se desarrolla el chile poblano (29 a 10 °C; Roose, 1994).

Por otra parte, para estimar el rendimiento y número de frutos, se seleccionaron ocho plantas por tratamiento.

Resultados y discusión

Radiación fotosintéticamente activa

La RFA, interceptada por encima del dosel, es relativamente constante durante todo el ciclo, con respecto a la radiación que llega por debajo del dosel. Se observa que a los 1,167 grados día acumulados (°DA), que corresponde a los 37 ddt, empieza a disminuir la cantidad de la radiación que llega a las hojas inferiores. Esto indica incremento en el área foliar de la planta. Conforme transcurren los días, aumenta el grado de interceptación de la RFA. La mayor parte de la radiación que llega por encima del follaje es aprovechada por la planta para realizar todos los procesos relacionados con la fotosíntesis (Figura 1). Este comportamiento es similar

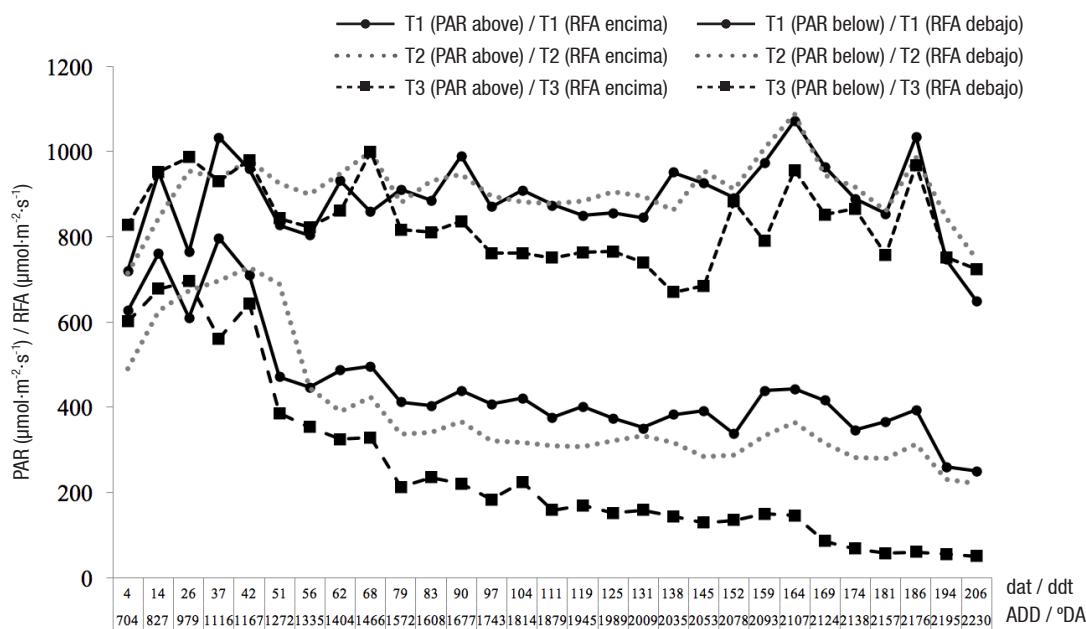


Figure 1. Photosynthetically active radiation (PAR) intercepted above and below the canopy of the plant in all three treatments during the crop cycle.

Figura 1. Radiación fotosintéticamente activa (RFA) interceptada por encima y debajo del dosel de la planta en los tres tratamientos durante el ciclo agrícola.

Figure 2 shows the behavior of incident PAR above the canopy every 10 min inside the greenhouse for four days from 8:00 a.m. to 8 p.m. It can be seen that the maximum radiation occurred from 1:00 to 2:00 p.m. On day four, there was a variation in radiation due to the recording of a cloudy day. Ayala-Tafoya et al. (2015) obtained similar results in red pepper cultivated under different types of shade-net colors. In addition, Samaniego-Cruz et al. (2002) reported similar PAR results with different types of polyethylene for the production of tomato and red pepper seedlings.

en los tres tratamientos, con respecto a la radiación que llega por debajo del dosel, y empieza a variar a partir de 1,000 °DA debido al incremento de área foliar.

En el T3 se observa que al final de ciclo la radiación que llega por debajo del dosel es escasa. Lo anterior debido a que no se realizó ningún control de follaje; el cual indica mayor grado de intercepción de la RFA. Estos datos concuerdan con los resultados obtenidos por Leguizamón y Verdelli (2011) en maíz y soya cultivados en campo abierto.

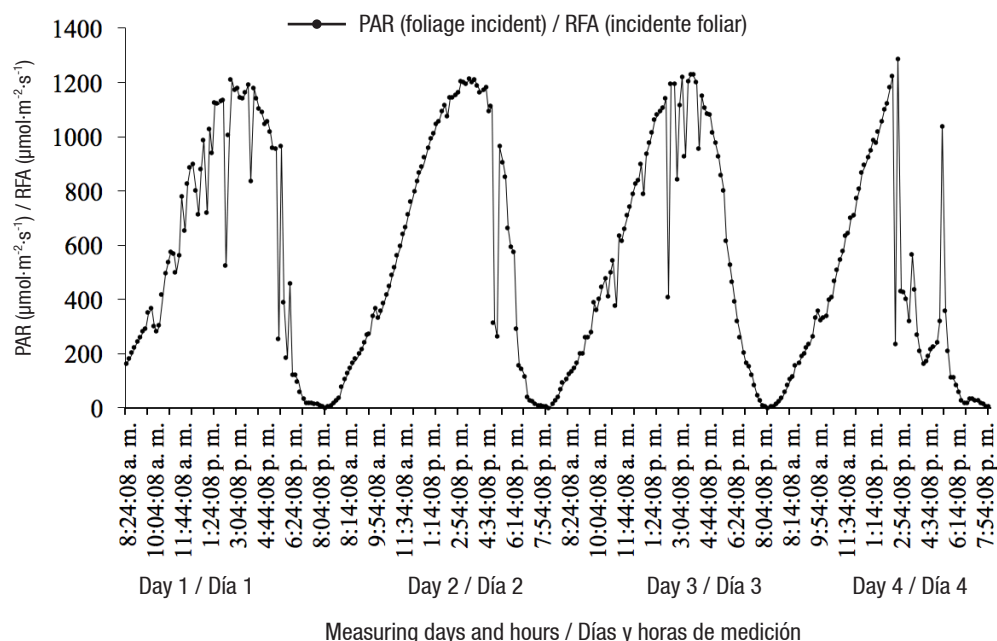


Figure 2. Photosynthetically active radiation (PAR) intercepted above the plant for four days measured with a ceptometer.

Figura 2. Radiación fotosintéticamente activa (RFA) interceptada por encima de la planta durante cuatro días medida con interceptómetro.

Leaf area index

The LAI of the poblano pepper crop was highest in T3, due to the greater number of stems per plant. This leads to the increase in LAI to a certain point, after which it begins to decrease.

From 1,246 ADD, which corresponds to 48 dat, LAI begins to differ among treatments, as the difference in the number of stems among treatments begins to be noticeable. Figures 3, 4 and 5 show the IAF obtained with the ceptometer and the destructive method. The maximum LAI occurred at 2,099 ADD with 0.93, 1.26 and 2.78 for T1, T2 and T3, respectively. Once the maximum growth and development of the plant is reached, the LAI begins to decrease due to senescence and the fall of the lower dry leaves. Escalante-Estrada (1999) obtained similar results in sunflower cultivated under residual moisture conditions. Aguilar-García, Escalante-Estrada, Rodríguez-González, and Fucikovsky-Zak (2002)

En la Figura 2 se muestra el comportamiento de la RFA incidente por encima del dosel cada 10 min en el interior del invernadero durante cuatro días de 8:00 a 20:00 h. Se observa que la máxima radiación se presenta de 13:00 a 14:00 h. En el día cuatro, se detecta variación de la radiación debida al registro de un día nublado. Ayala-Tafoya et al. (2015) obtuvieron resultados similares en el cultivo de pimiento morrón cultivado bajo diferentes tipos de colores de mallas sombra. Además, Samaniego-Cruz et al. (2002) presentaron resultados similares de la RFA con diferentes tipos de polietileno para la producción de plántulas de tomate y pimiento morrón.

Índice de área foliar

El IAF del cultivo de chile poblano fue mayor en el T3; esto debido al mayor número de tallos por planta. Lo anterior da lugar al incremento del IAF hasta cierto punto, después empieza a disminuir.

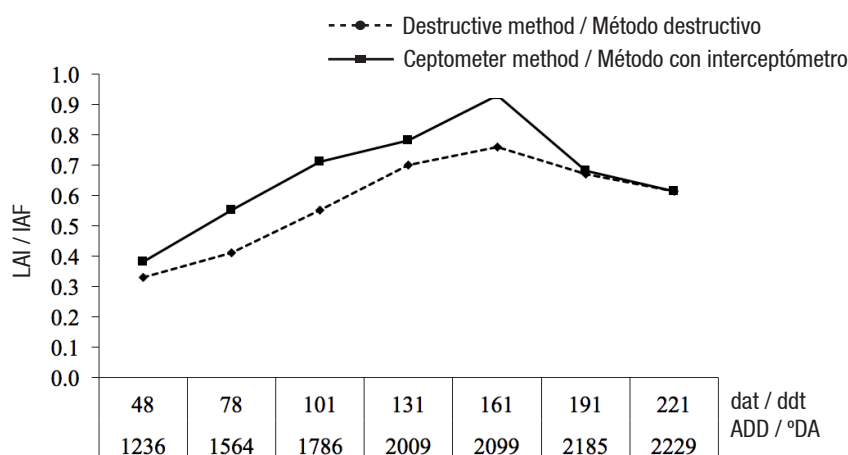


Figure 3. Comparison of measurements of leaf area index (LAI) obtained with destructive method and its estimation using a ceptometer for treatment 1 (two stems).

Figura 3. Comparación de las mediciones del índice de área foliar (IAF) con método destructivo y su estimación usando interceptómetro para el tratamiento 1 (dos tallos).

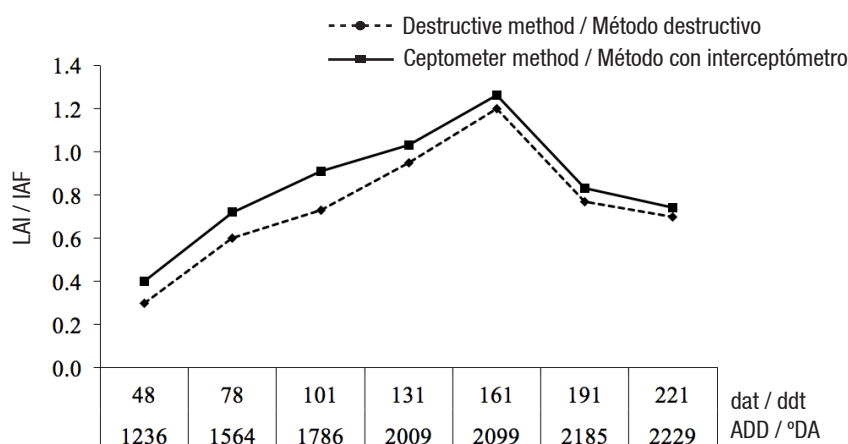


Figure 4. Comparison of measurements of leaf area index (LAI) obtained with destructive method and its estimation using a ceptometer for treatment 2 (two stems).

Figura 4. Comparación de las mediciones del índice de área foliar (IAF) con método destructivo y su estimación usando interceptómetro para el tratamiento 2 (tres tallos).

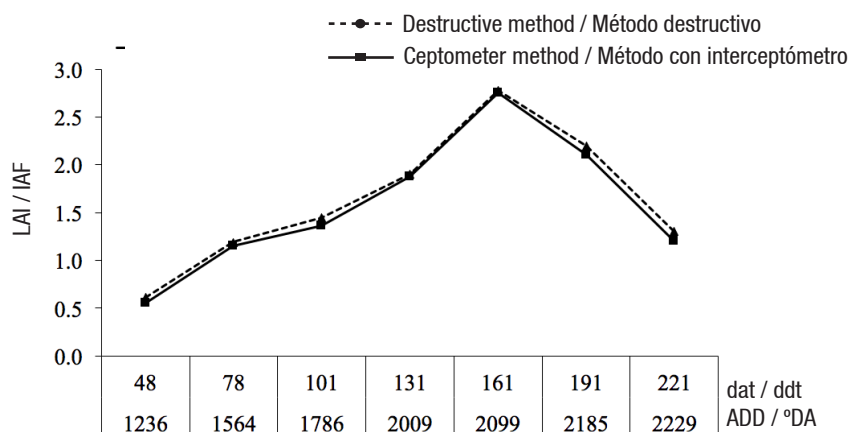


Figure 5. Comparison of measurements of leaf area index (LAI) obtained with destructive method and its estimation using a ceptometer for treatment 3 (without pruning).

Figura 5. Comparación de las mediciones del índice de área foliar (IAF) con método destructivo y su estimación usando interceptómetro para el tratamiento 3 (sin poda).

and Vega-Muñoz, Escalante-Estrada, Sánchez-García, Ramírez-Ayala, and Cuenca-Adame (2001) also reported similar results in sunflower cv. Victoria cultivated under highland rainfed conditions. This methodology, in addition to confirming the results of Steven et al. (1986), allowed obtaining LAI estimates with the ceptometer.

Table 1 presents the phenological stages of greenhouse-grown poblano pepper variety Capulín F1, as a function of GDD.

Table 1. Phenological stages of poblano pepper in terms of growing degree days (GDD).

Cuadro 1. Etapas fenológicas de chile poblano en función de grados día desarrollo (°DD).

Stages/Etapas	Duration of stage (days) / Duración de etapa (días)	Cumulative period per stage (days) / Periodo acumulado por etapa (días)	GDD/°DD
Planting/Siembra	0	0	0
Transplant/Trasplante	1	59	665
Vegetative development/Desarrollo vegetativo	38	97	1116
Flowering and fruit development/Floración y desarrollo de fruto	48	145	1394
Production and harvest/Producción y cosecha	107	252	1638
End of production/Fin de producción	12	264	2230

The correlation coefficient (R^2) between the two methods was calculated. The representation shows the linear character, with the coefficient of the regression line close to unity. This coefficient, with both methods, was 0.83, 0.94 and 0.99, for T1, T2 and T3, respectively (Figure 6). In the results, point dispersion in the line is observed, and this is because the destructive determination of LAI, compared to the effects of measuring with a ceptometer, comes from a single sector (1 m^2); this is in contrast to more repeated measurements that are obtained with the ceptometer. It should also be noted that the dispersion tends to increase as the sample size becomes larger, which may be a consequence of the loss of ceptometer precision under conditions of light saturation. De la Casa, Ovando, Bressanini, Rodríguez, and Martínez (2007) obtained similar results in potato, with a correlation coefficient between the two methods of $R^2 = 0.80$.

It was also found that T3 had a better correlation adjustment; this was due to the fact that when the foliage is larger it allows less radiation to pass, reducing the light saturation and thus the ceptometer readings are more similar to those obtained with the destructive method.

Figure 7 shows the behavior of the temperature inside the greenhouse from the time of planting to the end of cultivation. At first, the temperature was above 20°C and remained so until 1,325 ADD. Subsequently, it began to descend ($< 18^\circ\text{C}$), coinciding with the rainy

A partir de 1,246 °DA, que corresponde a 48 ddt, empieza a diferir el IAF entre los tratamientos, ya que comienza a ser notoria la diferencia en el número de tallos entre los tratamientos. En las Figuras 3, 4 y 5 se puede observar el IAF obtenido con el interceptómetro y el método destructivo. El máximo IAF se presentó a los 2,099 °DA con 0.93, 1.26 y 2.78 para T1, T2 y T3, respectivamente. Una vez llegado el máximo crecimiento y desarrollo de la planta empieza a disminuir el IAF debido a la senescencia y caída de

las hojas secas inferiores. Escalante-Estrada (1999) obtuvo resultados similares en girasol cultivado bajo condiciones de humedad residual. Aguilar-García, Escalante-Estrada, Rodríguez-González, y Fucikovsky-Zak (2002) y Vega-Muñoz, Escalante-Estrada, Sánchez-García, Ramírez-Ayala, y Cuenca-Adame (2001) también reportaron resultados similares en girasol cv. Victoria cultivado en condiciones de temporal del altiplano. Esta metodología, además de confirmar los resultados de Steven et al. (1986), permitió obtener estimaciones del IAF con el interceptómetro.

En el Cuadro 1 se presentan las etapas fenológicas del cultivo de chile poblano variedad Capulín F1, cultivado en invernadero en función del °DD.

Se calculó coeficiente de correlación (R^2) entre ambos métodos. La representación muestra el carácter lineal, con coeficiente de la recta de regresión cercano a la unidad. Dicho coeficiente, con ambos métodos, fue de 0.83, 0.94 y 0.99, para T1, T2 y T3, respectivamente (Figura 6). En los resultados, se observa dispersión de puntos en la recta, y esto se explica porque la determinación destructiva del IAF, en comparación con los efectos de la medición con interceptómetro, procede de un único sector (1 m^2); esto en contraposición de mediciones más repetidas que se obtienen con el interceptómetro. También se advierte que la dispersión tiende a aumentar a medida que el tamaño de la muestra se hace más grande; lo que puede ser consecuencia de la pérdida de precisión

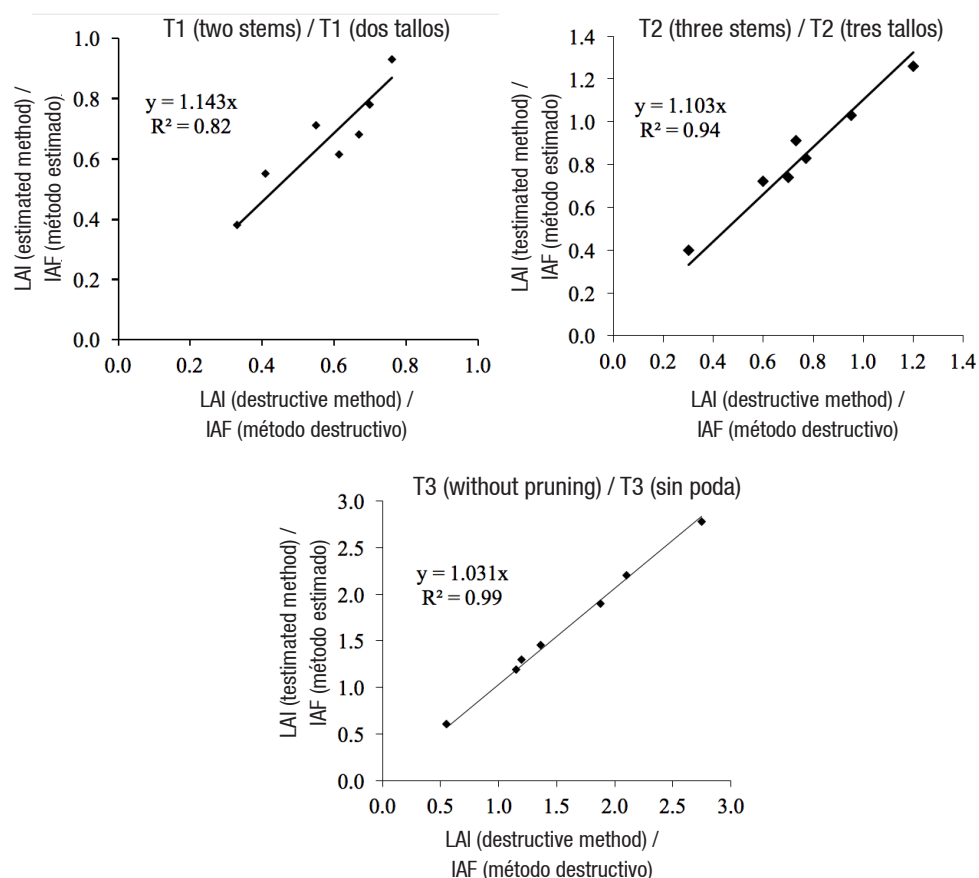


Figure 6. Relationship between measurements of the leaf area index (LAI) obtained with destructive method and its estimation using a ceptometer for the three treatments.

Figura 6. Relación de las mediciones de índice de área foliar (IAF) con método destructivo y su estimación usando interceptómetro para los tres tratamientos.

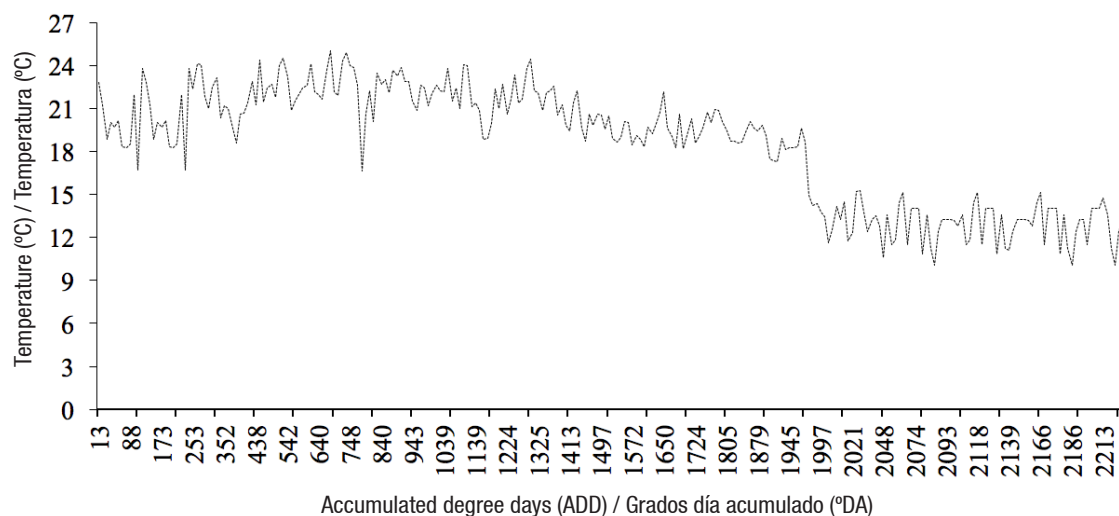


Figure 7. Behavior of the temperature inside the greenhouse during the crop cycle.

Figura 7. Comportamiento de la temperatura dentro del invernadero durante el ciclo agrícola.

months (June to August) and cold season ($< 15^{\circ}\text{C}$, September to November).

Relationship between leaf area index and yield of poblano pepper

Figures 8, 9, 10 and 11 show that from 1,564 ADD, which corresponds to 78 dat, the accumulated dry biomass begins to increase in the four organs of the plant. At 2,099 ADD there is an increase in fruit production in all three treatments, which corresponds to the stage in which the fruit harvest begins. The behavior is similar in all three treatments, varying only in the degree of accumulation. This accumulation trend is similar to the results obtained by Chamú-Baranda, López-Ordaz, Ramírez-Ayala, Trejo-López, and Martínez-Villegas (2011) in red pepper in partial drying of the root under protected conditions.

del interceptómetro en condiciones de saturación lumínica. De la Casa, Ovando, Bressanini, Rodríguez, y Martínez (2007) obtuvo resultados similares en papa, con un coeficiente de correlación entre ambos métodos de $R^2 = 0.80$.

Adicionalmente, se observa que el T3 presentó mejor ajuste de correlación; esto fue debido a que cuando el follaje es mayor deja pasar menor cantidad de radiación, por lo que se reduce la saturación lumínica y las lecturas del interceptómetro son más parecidas a las obtenidas con el método destructivo.

En la Figura 7 se puede ver el comportamiento de la temperatura adentro del invernadero desde el momento de siembra hasta final de cultivo. Al principio, la temperatura estaba por encima de 20°C y se mantuvo hasta los 1,325 °DA. Posteriormente, comienza a

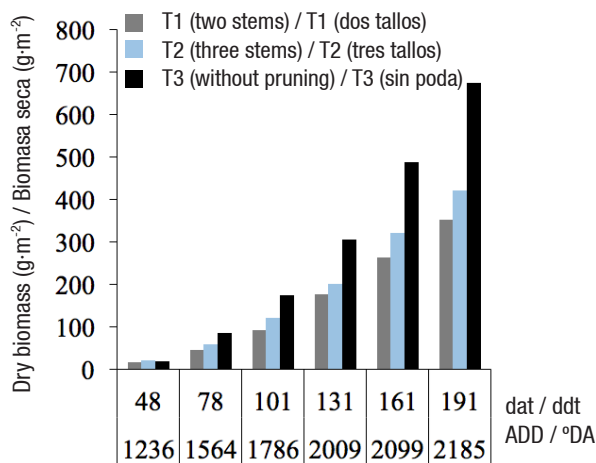


Figure 8. Dry biomass accumulated in the leaf.
Figura 8. Biomasa seca acumulada en la hoja.

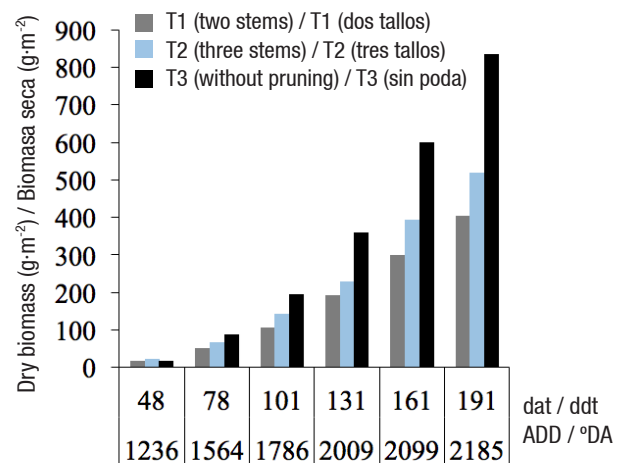


Figure 9. Dry biomass accumulated in the stem.
Figura 9. Biomasa seca acumulada en el tallo.

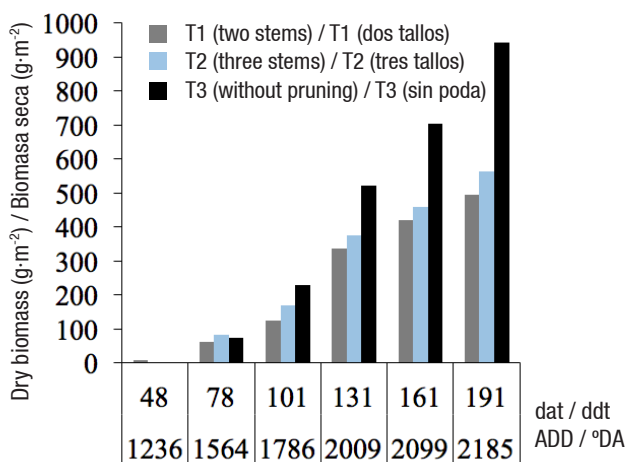


Figure 10. Dry biomass accumulated in the fruit.
Figura 10. Biomasa seca acumulada en el fruto.

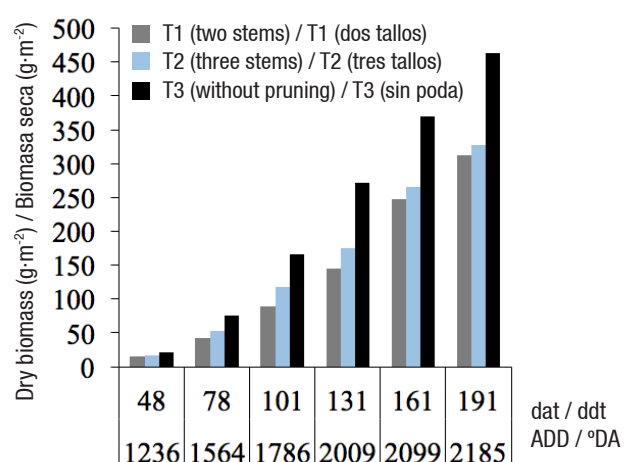


Figure 11. Dry biomass accumulated in the root.
Figura 11. Biomasa seca acumulada en la raíz.

Managing stem numbers is one of the most recommended agricultural practices to achieve an increase in productivity and greater interception of solar radiation in crops. This is because with an appropriate number of individuals per unit area, a better use of light, water and nutritional resources is achieved.

By increasing the number of stems per plant, a positive productive response was observed, as it increased the number of fruits per plant. This is because the foliage intercepts more photosynthetically active radiation, thereby increasing its capacity to perform photosynthetic activity, which increased fruit production.

Figure 12 shows the yield obtained in each treatment. The highest value was obtained with T3 (10.75 kg·m⁻²), followed by T2 (8.29 kg·m⁻²) and T1 (5.49 kg·m⁻²). T3 had the highest number of fruits with 264, followed by T2 with 129 and T1 with 102 fruits per m². The results of this work are similar to those reported by Hernández-Palomo et al. (2016) in poblano pepper variety Capulín F1 planted under protected conditions. According to means comparison tests (data not shown), a significant difference was found among treatments in yield and number of plants.

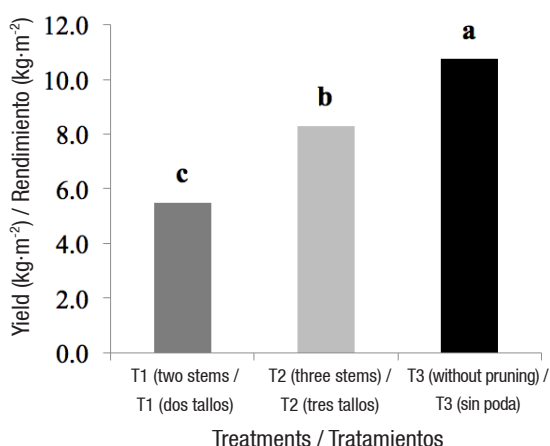


Figure 12. Yield of greenhouse-grown poblano pepper.

Figura 12. Rendimiento de chile poblano cultivado bajo invernadero.

It was also observed that while T3 had the best yield and number of fruits per plant, the disadvantage of this treatment was the uncontrolled foliage management; in addition, it was very susceptible to pests and diseases because of the poor air circulation in the foliage.

Conclusions

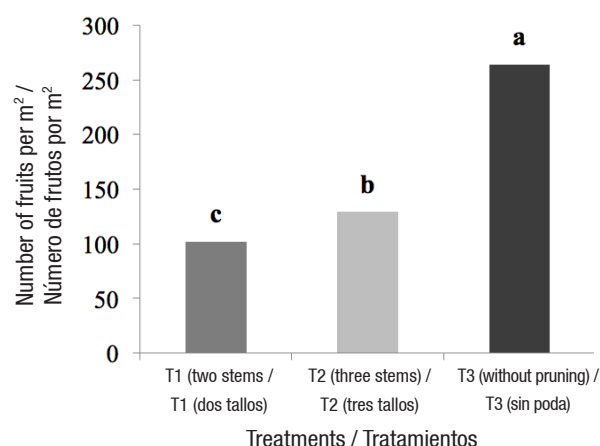
Estimating the leaf area index of greenhouse-grown poblano pepper using a ceptometer proved to be a suitable and reliable method. In addition, this index was positively related to yield, as increasing the number of stems per plant increased the amount of photosynthetically active radiation intercepted in the

descender (< 18 °C), coincidiendo con los meses lluviosos (junio a agosto) y temporada de frío (< 15 °C, septiembre a noviembre).

Relación entre el índice de área foliar y el rendimiento de chile poblano

En las Figuras 8, 9, 10 y 11, se observa que a partir de los 1,564 °DA, que corresponde a los 78 ddt, empieza a incrementar la biomasa seca acumulada en los cuatro órganos de la planta. A los 2,099 °DA se presenta incremento en producción de fruto en los tres tratamientos; lo que corresponde a la etapa en que inicia la cosecha de los frutos. El comportamiento es similar en los tres tratamientos, variando únicamente en el grado de acumulación. Esta tendencia de acumulación es similar a los resultados que obtuvieron Chamú-Baranda, López-Ordaz, Ramírez-Ayala, Trejo-López, y Martínez-Villegas (2011) en pimiento morrón en secado parcial de la raíz bajo condiciones protegidas.

El manejo de número de tallos es una de las prácticas agrícolas más recomendables para lograr un incremento en la productividad y mayor intercepción de la radiación solar en los cultivos. Lo anterior debido a que



con un número apropiado de individuos por unidad de superficie, se logra un mejor aprovechamiento de los recursos lumínicos, hídricos y nutrimentales.

Al incrementar el número de tallos por planta, se observó una respuesta productiva positiva; ya que incrementó el número de frutos por planta. Esto es debido a que el follaje intercepta mayor cantidad de radiación fotosintéticamente activa; por lo tanto, incrementa su capacidad de realizar actividad fotosintética, lo que aumentó su producción.

La Figura 12 presenta el rendimiento obtenido en cada tratamiento. El valor más alto se obtuvo con el T3

foliage; therefore, the plant increases its photosynthetic capacity and thus its production.

In addition, increasing the number of stems per plant increased leaf area index, yield and number of fruits; however, fruit size decreased.

End of English version

References / Referencias

- Aguilar-García, L., Escalante-Estrada, J. A., Rodríguez-González, M. T., & Fucikovsky-Zak, L. (2002). Materia seca, rendimiento y corriente geofitoeléctrica en girasol. *Terra Latinoamericana*, 20(3), 277-284. Retrieved from <https://chapingo.mx/terra/contenido/20/3/art277-284.pdf>
- Aguilar-Rincón, V. H. (2012). Reseña de libro: Cultivo de chile en México. *Revista Fitotecnica Mexicana*, 35(4), 264-265. Retrieved from http://www.revistafitotecniamexicana.org/documentos/35-4/Resena_Libro_El_cultivo_de_chile_2012.pdf
- Ayala-Tafoya, F., Sánchez-Madrid, R., Partida-Ruvalcaba, L., Yáñez-Juárez, M. G., Ruiz-Espinosa, F. H., Velázquez-Alcaraz, T. J., Valenzuela-López, M., & Parra-Delgado, J. M. (2015). Producción de pimienta morrón con mallas sombra de colores. *Revista Fitotecnica Mexicana*, 38(1), 93-99. Retrieved from <http://www.scielo.org.mx/pdf/rfm/v38n1/v38n1a12.pdf>
- Campbell, G. S., & Norman, J. M. (1989). The description and measurement of plant canopy structure. In: Russel, G., Marshall, B., Jarvis, P. G. (Eds.), *Plant Canopies: Their Growth, Form and Function* (pp. 1-19). Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press. Retrieved from <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201302680871>
- Chamú-Baranda, J. A., López-Ordaz, A., Ramírez-Ayala, C., Trejo-López, C., & Martínez-Villegas, E. (2011). Respuesta del pimienta morrón al secado parcial de la raíz en hidroponía e invernadero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 2(1), 97-110. Retrieved from <http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v2n1/v2n1a8.pdf>
- De la Casa, A., Ovando, G., Bressanini, L., Martínez, J., Ibarra, E., & Rodríguez, A. (2008). El índice de área foliar en papa estimado a partir de la cobertura del follaje. *Agronomía Tropical*, 58(1), 61-64. Retrieved from http://sian.inia.gob.ve/revistas_ci/Agronomia%20Tropical/at5801/pdf/casa_a.pdf
- De la Casa, A., Ovando, G., Bressanini, L., Rodríguez, A., & Martínez, J. (2007). Uso del índice de área foliar y del porcentaje de cobertura del suelo para estimar la radiación interceptada en papa. *Agricultura Técnica*, 67(1), 78-85. doi: 10.4067/S0365-28072007000100010
- Elings, A. (2000). Estimation of leaf area in tropical maize. *Agronomy Journal*, 92(3), 436-444. doi: 10.2134/agronj2000.923436x

(10.75 kg·m⁻²), seguido por el T2 (8.29 kg·m⁻²) y el T1 (5.49 kg·m⁻²). El T3 fue el que presentó mayor número de frutos con 264, el T2 con 129 y el T1 con 102 frutos por m². Los resultados de este trabajo son similares a los reportados por Hernández-Palomo et al. (2016) en chile poblano variedad Capulín F1 sembrado en condiciones protegidas. De acuerdo con el análisis estadístico de comparación de medias (datos no mostrados) se encontró diferencia significativa en el rendimiento y número de plantas entre los tratamientos.

También, se observa que en el T3 tuvo mejor rendimiento y número de frutos por planta, pero la desventaja de este tratamiento fue el manejo incontrolable del follaje; además, fue muy susceptible en la incidencia de plagas y enfermedades por la escasa circulación del aire en el follaje.

Conclusiones

La estimación del índice de área foliar de chile poblano cultivado en invernadero usando el interceptómetro mostró ser el método adecuado y confiable. Además, este índice se relacionó positivamente con el rendimiento, ya que al incrementar el número de tallos por planta se aumentó la cantidad de radiación fotosintéticamente interceptada en el follaje; por lo tanto, la planta incrementa su capacidad fotosintética e incrementar su producción.

Adicionalmente, al aumentar el número de tallos por planta incrementó el índice de área foliar, el rendimiento y número de frutos; sin embargo, el tamaño de frutos disminuyó.

Fin de la versión en español

- Escalante-Estrada, J. A. (1999). Área foliar, senescencia y rendimiento del girasol de humedad residual en función del nitrógeno. *Terra Latinoamericana*, 17(2), 149-157. Retrieved from <https://chapingo.mx/terra/contenido/17/2/art149-157.pdf>
- Grossi-Gallegos, H. (2004). Distribución espacial de la radiación fotosintéticamente activa en Argentina. *Meteorológica*, 29(1-2), 27-36. Retrieved from <http://www.scielo.org.ar/pdf/meteoro/v29n1-2/v29n1-2a03.pdf>
- Hernández-Hernández, F., López-Cruz, I. L., Guevara-González, R. G., Rico-García, E., Ocampo-Velásquez, V. R., Herrera-Ruiz, G., González-Chavara, M. M., & Torres-Pacheco, I. (2011). Simulación del crecimiento y desarrollo de pimienta (*Capsicum annum* L.) bajo condiciones de invernadero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 2(3), 385-397. Retrieved from <http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v2n3/v2n3a7.pdf>
- Hernández-Palomo, J. B., Trejo-López, C., Ramírez-Ayala, C., López-Ordaz, A., Uscanga-Mortera, E., & Preciado-Rangel, P. (2016). Eficiencia de uso de agua en chile

- en un sistema con déficit de riego y drenaje cero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, (17), 3623-3632. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263149506016>
- Leguizamón, E. S., & Verdelli, D. V. (2011). Rendimiento de maíz y soja en sistemas de cultivos en franjas y monocultivo: efectos de la orientación de la siembra. *Agriscientia*, 28(2), 147-156. Retrieved from <http://www.scielo.org.ar/pdf/agrisc/v28n2/v28n2a06.pdf>
- Monsi, M., & Saeki, T. (1953). Über den Lichtfaktor en el foso Pflanzengesellschaften und seine Bedeutung für die Stoffproduktion. *Japanese Journal of Botany*, 14(1), 22-52. Retrieved from <http://www.citeulike.org/user/ddasilva/article/1687877>
- Neild, R. E., & Smith, D. T. (1997). *Maturity dates and freeze risks based on growing degree days*. Nebraska: University of Nebraska-Lincoln. Retrieved from <http://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1713&context=extensionhist>
- Ojeda-Bustamante, W., Sifuentes-Ibarra, E., Slack, D. C., & Carrillo, M. (2004). Generalization of irrigation scheduling parameters using the growing degree days concept: application to a potato crop. *Irrigation and Drainage*, 53(3), 251-261. doi: 10.1002/ird.134
- Ovando, G. (1999). Determinación fotogramétrica del área foliar en papa usando una técnica estándar de interpretación de imágenes de satélites. In: *XI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia y II Reunião Latino Americana de Agrometeorologia, Florianópolis, Brasil* (pp. 121-127). Brazil: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia.
- Reis, L. S., de Azevedo, C. A. V., Albuquerque, A. W., & Junior, J. F. S. (2013). Índice de área foliar e produtividade do tomate sob condições de ambiente protegido. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 17(4), 386-391. Retrieved from <http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v17n4/a05v17n4.pdf>
- Rodríguez, A. (2000). Determinación del área foliar en papa (*Solanum tuberosum* L., var. Spunta) por medio de fotografías digitales conociendo la relación entre el número de píxeles y la altura de adquisición. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, 8(2), 215-221. Retrieved from http://www.scielo.org/ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2008000100013
- Roose, E. (1994). *Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES)*. Bulletin Pédologique de la FAO No. 70. Roma: Food and Agriculture Organization. Retrieved from <http://www.fao.org/docrep/t1765f/t1765f00.htm>
- Samaniego-Cruz, E., Quezada-Martin, M. R., de la Rosa-Ibarra, M., Munguía-López, J., Benavides-Mendoza, A., & Ibarra-Jiménez, L. (2002). Producción de tomate y pimiento con cubiertas de polietileno reflejante para disminuir la temperatura en invernadero. *Agrociencia*, 36(3), 305-318. Retrieved from <http://www.redalyc.org/pdf/302/30236304.pdf>
- Steven, M. D., Biscoe, P. V., Jaggard, K. W., & Paruntu, J. (1986). Foliage cover and radiation interception. *Field Crop Research*, 13(2), 75-87. doi: 10.1016/0378-4290(86)90012-2
- Vega-Muñoz, R., Escalante-Estrada, J. A., Sánchez-García, P., Ramírez-Ayala, C., & Cuenca-Adame, E. (2001). Asignación de biomasa y rendimiento de girasol con relación al nitrógeno y densidad de población. *Terra Latinoamericana*, 19(1), 75-81. Retrieved from <https://chapingo.mx/terra/contenido/19/1/art75-81.pdf>
- White, M. A., Asner, G. P., Nemani, R. R., Privette, J. L., & Running, S. W. (2000). Measuring fractional cover and leaf area index in arid ecosystems. Digital camera, radiation transmittance, and laser altimetry methods. *Remote Sensing of Environment*, 74(1), 45-57. doi: 10.1016/S0034-4257(00)00119-X