

Índice de área foliar de cultivo de Chile Poblano mediante dos métodos en condiciones protegidas

MENDOZA-PÉREZ, Cándido, RAMÍREZ-AYALA, Carlos, OJEDA-BUSTAMANTE, Waldo, FLORES-VELÁSQUEZ, Jorge, FLORES-MAGDALENO, Héctor y SIFUENTES-IBARRA, Ernesto

C. Mendoza´, C. Ramírez´, W. Ojeda´´, J. Flores´´, H. Flores´, E. Sifuentes´´´

´ Colegio de Posgraduados, carretera México-Texcoco, km 36.5, Montecillo, estado de México. C. P. 56230.

´´ Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Paseo Cuauhnáhuac No. 8535, Colonia Progreso, Jiutepec, Morelos, México. C.P. 62550.

´´´ INIFAP-CIRNO-Campo Experimental Valle del Fuerte. km 1609 carretera México-Nogales, Juan José Ríos, Guasave, Sinaloa.
candidompl@hotmail.com

E. Figueroa, L. Godínez, F. Pérez (eds.) Ciencias de la Biología y Agronomía. Handbook T-I. -©ECORFAN, Texcoco de Mora-México, 2015.

Abstract

The leaf area index (LAI) is a useful tool to characterize the dynamics and crop productivity variable, has a direct relationship between leaf area and plant capacity for photosynthesis. It is defined as the area of leaves per unit area of soil surface and is one of the most useful parameters for characterizing the vegetation, being a very valuable measure to help evaluate the density and biomass of vegetation cover. The aim of this study was to determine a quick, easy and inexpensive method of measuring leaf area index poblano chile cultivation under protected conditions by two direct and indirect methods which experimental work was developed with three treatments they consisted of follows, the T1 (two stems), T2 (three stems) and T3 (no pruning). The direct method (destructive) consisted of the selected plant extract and separating bodies such as leaf, stem, root, fruit and to measure leaf blade area by a meter mark Area Meter Model LI-3100. For the indirect method, a AccuPAR ceptometer with 80 sensors that capture the photosynthetically active radiation (PAR) to estimate the leaf area index (LAI) was used. The results of the comparison of the two methods, direct and indirect, showed a high ratio ($R^2 = 0.92$), indicating a good level of accuracy of data obtained for both methods, therefore can be ceptometer easy and fast to estimate LAI crop tool. The results of the yields obtained were as follows 58.8, 75.1 and 83.9 t ha⁻¹ for T1, T2 and T3, respectively; the best treatment when harvested fruit quality was compared to T2 and water productivity was the T1 with 15.41 kg m⁻³.

4 Introducción

El cultivo de chile es una hortaliza que se cultiva en casi todo el país en los dos ciclos agrícolas y forma parte del grupo de los principales productos hortofrutícolas exportados. No obstante, el 80% de la producción nacional se consume internamente, lo que determina su importancia como alimento ya que además de poseer minerales y vitaminas, es un condimento que se presenta en la mayoría de los platillos mexicanos. La especie que más se cultiva es el pimiento (*Capsicum annum* L.) con diferentes tipos de chile como son jalapeño, serrano, pasilla, guajillo, poblano, mulato, pimiento morrón y chile Bell pepper (Zegbe *et al.*, 2012).

La producción mundial de cultivo de chile ha tenido un aumento espectacular en los últimos 10 años. Este aumento es principalmente en los chiles picosos y esto se debe a la creciente demanda de este producto en todas sus presentaciones (fresco, seco y procesado) tanto para consumo directo como para usos industriales (Zegbe *et al.*, 2012).

El índice de área foliar (LAI) es una variable útil para caracterizar la dinámica y productividad de los cultivos, tiene una relación directa entre el área foliar y la capacidad de la planta para realizar la fotosíntesis. Se define como el área de las hojas por unidad de área de superficie del suelo y es uno de los parámetros más útiles para caracterizar la vegetación, siendo una medida muy valiosa que ayuda a evaluar la densidad y biomasa de la cubierta vegetal.

El LAI es uno de los índices más estudiados a la hora de estimaciones de procesos de producción en ecosistemas ya que permite caracterizar la estructura de la cubierta vegetal (Mussche y otros, 2001), relaciona los procesos clave del ecosistema, el balance hidrológico y de energía (Feldkirchner y Gower, 2001, Bolstad y Gower, 1990), y de fundamental importancia, para estimaciones de intercambio de carbono, agua, nutrientes y luz (Thomas y Winner, 2000, Gower y Norman, 1991).

La determinación del índice de área foliar constituye un parámetro fundamental en la evaluación del desarrollo y crecimiento de los cultivos, en estudios de requerimientos hídricos y eficiencia bioenergética y en la determinación de daños producidos por patógenos y plagas. Además, por su estrecha relación con la intercepción de la radiación solar, con la fotosíntesis y con los procesos transpiración, aspectos fuertemente vinculados a la acumulación de biomasa y a la productividad, constituye una información básica para la modelización del crecimiento, desarrollo y rendimiento agronómico de los cultivos (Elings, 2000; De Oliveira *et al.*, 2007).

Los fisiólogos, biólogos y los agrónomos han demostrado que la medición de área foliar es uno de los parámetros muy importantes en la determinación de las etapas fenológicas, en la estimación del potencial de rendimiento biológico y agronómico, en el cálculo del uso eficiente de la radiación solar, así como también en el cálculo del uso eficiente del agua y de la nutrición de los cultivos (Sonntag *et al.*, 2008).

Existen varios métodos propuestos para la medición del área de las hojas, pero en ocasiones, éstas se hacen difíciles, y más cuando los lotes experimentales se encuentran lejos de los centros de investigación que al momento realizar el muestreo destructivo dificulta los trabajos por las condiciones de clima su desplazamiento, o porque el uso de la instrumentación es sensible y de alto costo (Ross, 1981; Ajayi, 1990). Esto induce a cometer errores en los cálculos y hace que se desvirtúen los procedimientos

Para la medición del índice de área foliar se dispone de variados procedimientos destructivos y no destructivos, cuya elección dependerá de las características del cultivo, de la cantidad de material a evaluar, del tamaño de las muestras, del nivel de precisión requerido y de las disponibilidades de tiempo, personal y equipos. De este contexto surge la necesidad de generar métodos no destructivos, simples, de bajo costo y técnicamente precisos para medir el área foliar de la planta. A tal efecto, el empleo de modelos de regresión, establecidos entre una o más variables simples medidas en la planta y su área foliar real, acelera sensiblemente el tiempo de las determinaciones, reduce el esfuerzo y los costos y permite trabajar con una precisión adecuada evitando la destrucción del material, el que se puede muestrear varias veces a lo largo del tiempo (Elings, 2000).

En la actualidad existe diversas herramientas para estimar el LAI a través de métodos indirectos como los dispositivos de Hemiview Plant Analyser Canopy de Delta-T, el CI-110 Plant Canopy analizador de CID Bio-Science, LAI-2200 Plant Canopy analizador de LI-COR Biosciences y dispositivos de interceptómetros LP-80 Decagon, son equipos que realizan mediciones directamente en la planta pero sin la necesidad de destruirlas.

El interceptómetro mide la radiación fotosintéticamente activa (400-700 nm) incidentes en 80 sensores localizados a 1 cm de intervalo a lo largo de una varilla de 80 cm de largo. La transmitancia del PAR que atraviesa la copa del árbol y el PAR directo más el coeficiente de extinción son los factores que intervienen para computar el LAI a través de la ecuación de Beer-Lambert (Vose y Swank, 1990).

El presente trabajo tuvo como objetivo determinar un método rápido, fácil y de bajo costo para medir el índice de área foliar de cultivo de chile poblano (*Capsicum annuum L.*) bajo condiciones protegidas. Se estableció un trabajo experimental con tres tratamientos (T) que consistieron en diferentes números de tallos: el T1 consistió en (dos tallos), T2 en (tres tallos) y el T3 fue (sin poda) a la vez generar alternativas que contribuyen a mejorar la producción.

4.1 Materiales y métodos

El experimento se realizó en un invernadero ubicado en el Campus Montecillo del Colegio de Postgraduados, Estado de México, cuyas coordenadas geográficas son 19° 28'05" latitud norte y 98° 54'31" longitud oeste con una altitud de 2,244 m. El invernadero utilizado para este estudio es típico del centro de México, de triple túnel con estructuras de metal y cubiertas de plástico de polietileno de alta densidad, con malla anti-insecto en las paredes laterales, además cuenta con un sistema de ventilación pasiva a través de ventilas laterales y cenitales de apertura manual.

En la zona se registra una temperatura media anual de 15.3 °C y una precipitación pluvial anual de 603 mm. La evaporación media anual es de 1743 mm. La temperatura media en el mes más caliente es de 18 °C y en el más frío de 11 °C. El periodo de lluvias es de mayo a octubre, con un máximo promedio en julio, de 130 mm y la época seca es de noviembre a abril. El clima se clasifica templado- frío (García, 1981).

Siembra de semillas para germinación.

Para la obtención de las plántulas se sembraron semillas de chile poblano híbrido capulín F1. Se utilizaron charolas poliestireno de 200 cavidades y se depositó una semilla por cavidad. El sustrato utilizado para la germinación fue turba (peat moss) manteniendo siempre humedad para asegurar la germinación. A los 60 días después de siembra, las plántulas se extrajeron de la charola con todo y cepellón, y se colocaron las plántulas en bolsas maceteras de color negro de 35 por 35 cm, llenados con 9 kg de tezontle rojo (roca volcánica) como sustrato, al inicio de los tratamientos se realizaron dos orificios en la base inferior para drenar excedentes de fertirriego e impurezas de los lavados. Inmediatamente después del trasplante se aplicó agua con solución nutritiva mediante riego por goteo para evitar problemas de estrés y nutrientes a las plantas ver la Figura 4.

Figura 4 Germinación en charolas y trasplante a las bolsas maceteras



Establecimiento de los tratamientos.

Los tratamientos (T) consistieron con diferente número de tallos para cada tratamiento: el (T1) consistió en dos tallos por planta, el T2 consistió en tres tallos y el T3 consistió sin poda. La superficie experimental para cada tratamiento fue de 56 m² llegando a establecer una superficie total de 168 m².

La medición de índice de área foliar se realizó mediante dos métodos uno directo (destrutivo) y el otro método indirecto (interceptómetro).

Método directo o destructivo (integrador de área foliar).

Este método consistió en extraer la planta de la maceta con todo y raíz, después se separó por órganos como, hoja, tallo, fruto y raíz. Inmediatamente después se llevaron las hojas para realizar la medición de área foliar mediante un medidor electrónico (Área Meter modelo LI-3100), en el cual a través de una banda transparente se colocaron cuidadosamente cada una de las hojas en forma extendida y se fueron pasando sobre la banda y al final se colocó un recipiente para recolectar las hojas medidas. Al final el equipo mostro la lectura en cm^2 , como se puede ver la (Figura 4.1). Posteriormente se llevaron las muestras de la planta a secar en una estufa a $70\text{ }^\circ\text{C}$, después de 48 horas se pesaron las muestras a peso constante. Finalmente en una hoja de Excel se realizaron los cálculos correspondientes de índice de área foliar de la planta con la siguiente (Ecuación 4).

$$LAI = \frac{AF \times NP}{AT} \quad (4)$$

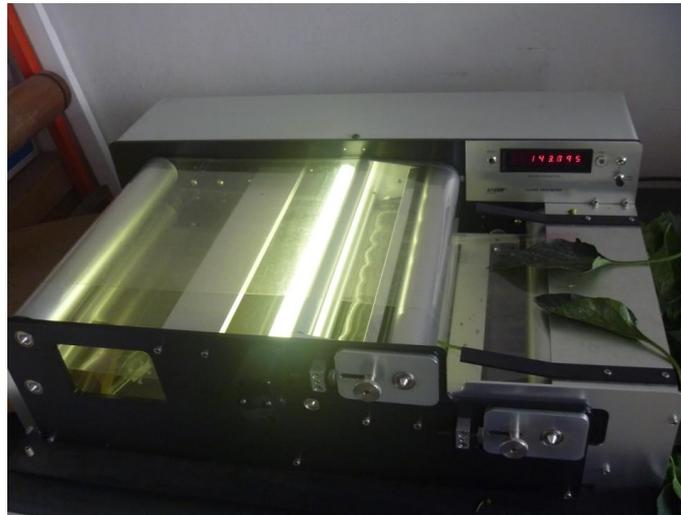
LAI = índice de área foliar, $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$

AF = superficie media hoja de dos plantas, m^2

NP = número de plantas por m^2

AT = área considerada total de 1m

Figura 4.1 Equipo de medidor Área Meter modelo LI-3100



Método indirecto (interceptómetro).

El modelo AccuPAR LP-80 es un sensor de PAR (Radiación Fotosintéticamente Activa) ligero y portátil. Para medir la interceptación de PAR por el dosel y calcula LAI (Leaf Area Index) en cualquier parte de la planta), este instrumento mide la interceptación de la radiación realizada por el dosel de un cultivo entre 400-700 nanómetro (nm).

Para este método se utilizó un interceptómetro (PAR/LAI, LP-80, Decagon Devices, Inc, Pullman, Washington, USA) mediante este instrumento se realizaron dos mediciones, uno arriba de dosel y otra por debajo de mismo, efectuándose 6 determinaciones por tratamiento. Las mediciones por debajo del dosel se llevaron a cabo colocando el sensor perpendicular en uno de los líneas centrales de la parcela. El LAI fue calculado de acuerdo al manual del usuario y el LAI del sitio fue el valor promedio de las 6 determinaciones como se puede ver la (Figura 4.2).

Las mediciones con el interceptómetro se realizaron solo bajo condiciones de cielo despejado y durante las horas próximas al mediodía solar. De esta forma el ángulo cenital fue el menor posible, y el factor fb correspondió siempre a fracciones elevadas de radiación solar directa, lo que permitió homogeneizar los datos.

Figura 4.2 Medición indirecta de índice de área foliar con el interceptómetro



El LP-80 calcula LAI por medio de la medición de la diferencia entre los niveles de la luz que llega por encima de la planta, la luz que llega en base de la planta, por el factor en la distribución del ángulo de las hojas, ángulo cenital solar, y el coeficiente de extinción de la planta. Todos estos factores en combinación realizan un ajuste para estimar el índice de área foliar de la planta utilizando la siguiente (Expresión 4.1).

$$\text{LAI} = \frac{\left[\left(1 - \frac{1}{2K} \right) fb - 1 \right] \text{Ln} \left(\frac{\text{PAR}_d}{\text{PAR}_a} \right)}{A(1 - 0,47 fb)} \quad (4.1)$$

Donde K es el coeficiente de extinción lumínico, que al considerar un parámetro de distribución angular esférico ($x = 1$), simplifica su cálculo a $K = 1/(2 \cdot \cos v)$, siendo v el ángulo cenital; fb es la fracción de la radiación directa con respecto a la radiación solar recibida, y A es un coeficiente de absorción general del dosel que resulta igual a 0.86 para un valor de absorptividad de 0.9 (Campbell, 1986).

Eliminación de los brotes laterales o axilares (poda).

La poda consiste en eliminar partes de la planta para mantener el vigor así asegurar que el crecimiento nuevo sea homogéneo para que no pierdan el balance de crecimiento y mejorar la calidad de los frutos. También ayuda a mantener las plantas libres de plagas y enfermedades, ya que proporciona una circulación adecuada del aire, al mismo tiempo permite la infiltración de la radiación a las hojas inferiores para realizar el proceso de la fotosíntesis.

La poda se realizó para los tres tratamientos en intervalos de cada 8 días eliminando los nuevos brotes laterales dejando siempre el número que tallos que le corresponde para cada tratamiento.

4.2 Resultados y discusiones

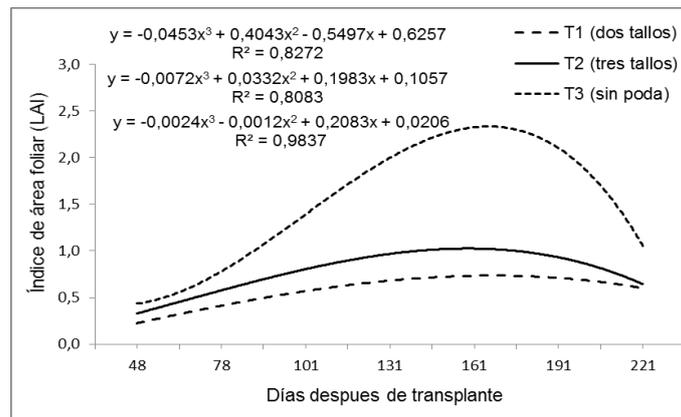
Índice de área foliar por el método directo

En la Figura 4.3 se puede observar el comportamiento del índice de área foliar para cada tratamiento por el método directo, donde se puede apreciar que el T1 y T2 presentan un comportamiento similar y de crecimiento moderado durante todo el ciclo de la planta, donde el máximo LAI se presenta a los 161 ddt que fue de 0.76 y 1.23 respectivamente.

Para el T3 se observar que el crecimiento siempre se mantuvo por encima del T1 y T2 durante todo el ciclo agrícola, se observa que hasta los 101 ddt el crecimiento es moderado después se aprecia un aumento considerable del follaje hasta llegar un máximo LAI de 2.75 que corresponde a los 161 ddt que coincide con la cuarta cosecha de fruto y también corresponde al máximo potencial productivo de la planta en rendimiento del fruto.

Una vez obtenidas las curvas de índice de área foliar se generaron las ecuaciones de regresión no lineal para cada tratamiento, donde se observa que en todos los modelos se obtuvieron una R^2 mayor de 0.8 lo cual indica un buen nivel de precisión en la medición los datos por este método.

Figura 4.3 Comparación del comportamiento de LAI de los tratamientos por el método directo

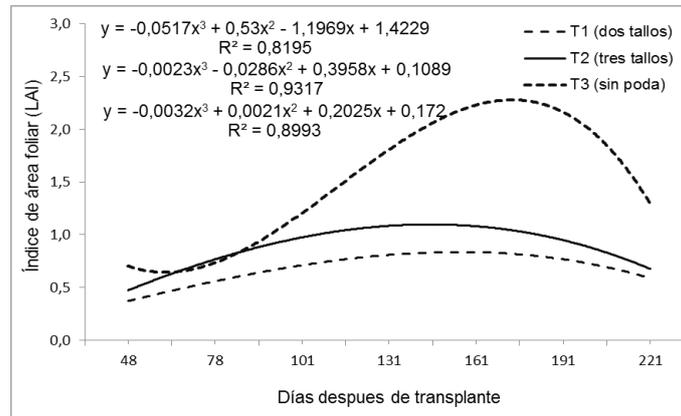


Índice de área foliar por el método de interceptómetro.

En la Figura 4.4 se puede observar el comportamiento del índice de área foliar de cada tratamiento por el método indirecto mediante el interceptómetro, donde se aprecia que el T1 y T2 presentan un crecimiento moderado durante todo el ciclo agrícola y presentan un LAI máxima de 0.93 y 1.17. Para el T3 se observa que el crecimiento es moderado hasta los 101 ddt que corresponde a la etapa vegetativa e inicio de fructificación, después de los 131 ddt se presenta un crecimiento exponencial del cultivo hasta llegar a un máximo LAI de 2.71 que corresponde la cuarta cosecha del fruto y este se presenta a los 161 ddt.

Una vez obtenidas las curvas de índice de área foliar de los tratamientos se generaron las ecuaciones de regresión no lineal para los tratamientos, donde se observa que en todos los modelos se obtuvieron una R^2 mayor de 0.8 lo cual indica un buen nivel de precisión en la medición de índice de área foliar por el interceptómetro.

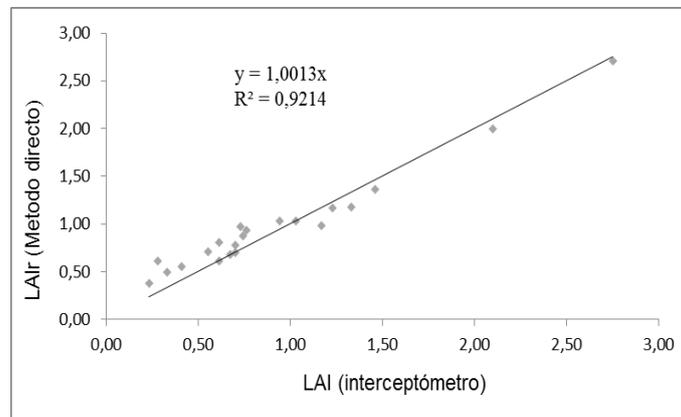
Figura 4.4 Comportamiento del LAI de los tratamientos por interceptómetro



Una vez generada las curvas de regresión no lineal para ambos métodos, posteriormente se generó una gráfica de regresión lineal donde en el eje (Y) se presenta la variable del método directo y en el eje (X) la variable del método interceptómetro al final se generó la ecuación lineal con su respectivo R^2 .

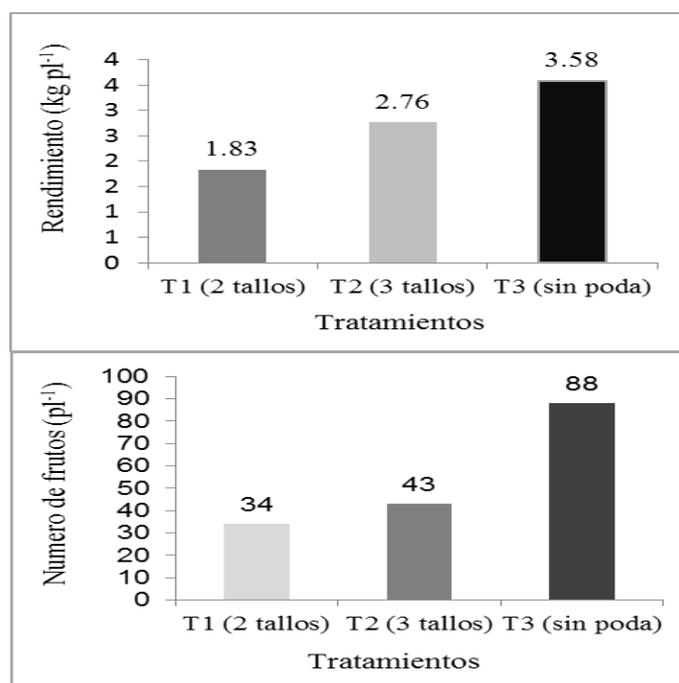
En la Figura 4.5 se muestra la regresión no lineal con un nivel de precisión del 92% de confianza entre el índice de área foliar del método directo (destructivo) y por el método indirecto (interceptómetro) para el cultivo de chile poblano bajo condiciones protegidas.

Figura 4.5 Regresión lineal de LAI entre el método directo y por el interceptómetro



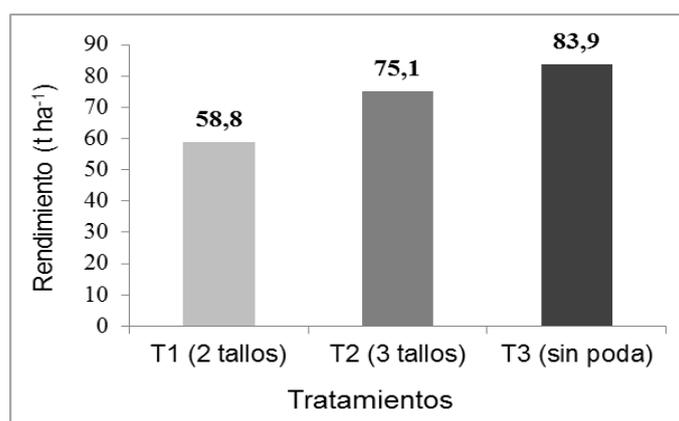
Rendimiento y número de frutos por planta.

En la Figura 4.6 se presenta el rendimiento promedio para seis evaluaciones de los tratamientos, donde el valor más alto se tuvo para el tratamiento T3 ($3,58 \text{ kg planta}^{-1}$), seguido por el T2 con ($2,76 \text{ kg pl}^{-1}$) y el más bajo fue el T1 ($1,83 \text{ kg pl}^{-1}$). También se puede observar el número de fruto fresco que se obtuvo en promedio de las ocho plantas evaluadas para cada tratamiento durante el ciclo del cultivo, en donde se puede ver que el T3 fue el mejor con un total de 88 frutos por planta, seguido por el T2 con 43 y por último el T1 con 34 frutos.

Figura 4.6 Producción y número de fruto producido por planta

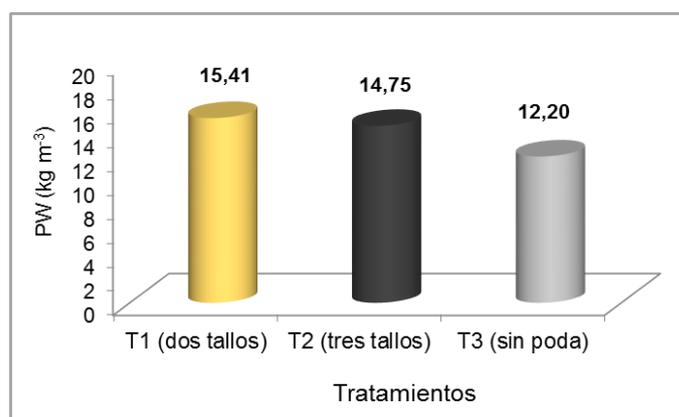
Rendimiento acumulado.

En la Figura 4.7 se presenta el rendimiento acumulado para las seis cosechas que se realizaron para cada uno de los tratamientos, donde el T3 obtuvo el rendimiento más alto que fue de (83.9 t ha⁻¹, seguido por el T2 con 75 t ha⁻¹ y el más bajo fue con el T1 (58.8 t ha⁻¹).

Figura 4.7 Rendimiento obtenido de los tratamientos

Productividad del agua.

Se aplicó una lámina total de agua para cada tratamiento los cuales fueron los siguientes 38.16, 50.90 y 68.8 para T1, T2, y T3 respectivamente. En la Figura 4.8 se observa el rendimiento para cada uno de los tratamientos en función de la cantidad de agua aplicada en m³, donde el T1 obtuvo su máximo potencial de productividad que por cada m³ de agua aplicada se obtuvo 15.41 kg de fruto comparando con el T3 que fue de 12.20 kg m⁻³. Esto significa que para alcanzar el máximo potencial de rendimiento no debe haber estrés hídrico en las etapas más críticas del cultivo como la floración que puede afectar significativamente el rendimiento del cultivo.

Figura 4.8 Productividad del agua

4.3 Conclusiones

Al considerar la existencia de métodos destructivos y no destructivos para la medición del índice de área foliar (LAI) y de acuerdo a los resultados que se obtuvo en este trabajo de investigación se demostró una vez más el que el método directo sigue siendo el más preciso ya que para cada uno de los tratamientos se obtuvieron una R^2 mayor de 0.80 lo cual indica un alto nivel de precisión.

Por el método indirecto concluye que el uso de la interceptación de radiación solar (interceptómetro) puede ser un buen método no destructivo para estimar el LAI de los cultivos bajo condiciones protegidas, considerando siempre las condiciones del cultivo al momento de realizar la mediciones como el ángulo solar del sol (asociado al horario de medición y a la orientación de la nave) y la condiciones climatológicas del día que el cielo este completamente despejando, para evitar la inducción de error. Para cada uno de los tratamientos se obtuvieron una R^2 mayor de 0.81 lo cual significa un alto nivel de precisión en la estimación del LAI. Se recomienda el uso de este equipo para realizar estimaciones de índice de área foliar de los cultivos ya que no hubo variación con el método directo.

Al final se genero una regresión lineal para ambos métodos los cuales presentaron una $R^2=0.92$ lo cual indica un alto nivel de precisión y de confianza en la medición del índice de área foliar para ambos métodos.

El mejor tratamiento en cuando a rendimiento fue el T2 con 83.9 t ha^{-1} y el mejor en cuando a productividad de agua fue el T1 con 15.4 kg m^{-3} .

Se recomienda usar el T2 (tres tallos) con fines comerciales ya que se adapta mejor en cuando a manejo de labores culturales del cultivo y también en calidad de fruto.

4.4 Referencias

AJAYI, N. O. (1990). Rapid determination of leaf area in ovate vegetable leaves by linear measurements. *J. Hort. Sc.* 65(1):1-15.

Broadhead, J. S.; Muxworthy, A. R.; ONG, C. K.; and Black, C. R. (2003). Comparison of methods for determining leaf area in tree rows. *Agric. Forest. Meteorol.* 115:151-161.

Calderón, A., Soto, F., Calderón, Maida, Fundora, L. R. (2009). Estimación de área foliar en posturas de mango (*Mangifera indica* L.) y aguacatero (*Persea* spp) en fase de vivero a partir de las medidas lineales de las hojas. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas Cultivos Tropicales. Cuba 30: 43-48.

Cortés, H. (2003). Mediciones de índice de área foliar por medio de la intercepción de radiación solar. Memoria Ingeniero Agrónomo. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. Santiago, Chile. 41p.

Campodónico, O. P. (2004). Importancia económica social y cultural del Chile. In: Curso taller Producción y Manejo Integral del Cultivo de Chile. Zacatecas, México pp. 5-13.

De Oliveira, R. A.; E. Daros; J. L. Camargo Zambon; H. Weber; O. Teruyo Ido; J. C. Bespalhok-Filho; K. C. Zuffellato-Ribas y D. K. Tramujas da Silva. (2007). Área foliar en tres cultivares de caña de azúcar y su correlación con la producción de biomasa. Revista Industrial y Agrícola de Tucumán. 37: 71-76.

Ellis, R. H., P. Hadley, E. H. Roberts, and R. J. Summerfield. (1990). Quantitative relations between temperature and crop development and growth. In: Jackson, M. T., B. V. Ford-Lloyd, and M. L. Parry. Climatic Change and Plant Genetics Resources. Belhaven Press, London. pp: 85-115.

Elings, A. (2000). Estimation of leaf area in tropical maize. Agron. J. 92: 436-444.

Feldkirchner, D.C. and Gower, S.T. (2001). Using the LI-COR LAI-2000 to estimate leaf area index and light transmittance in forest canopies. Methodology papers series of the 4th International Conference on ILTER in East and Pacific Region.

Gower, S. T. and Norman, J. M., (1990). Rapid estimation of leaf area index in conifer and broad-leaf plantations. Ecology, 72(5): 1896-1900.

Gower, S.T., Kucharik, C.J., Norman, J.M. (1999). Direct and indirect estimation of leaf area index, fAPAR, and net primary production of terrestrial ecosystems. Remote Sensing of Environment, 70, 29-51. Ulaanbaata-Hatgal, Mongolia, 2001, pp. 12-14

Jonckheere, I.; Fleck, S.; Nackaerts, K.; Muys, B., P. Coppin, P.; Baret, F. (2004). Review of methods for in situ leaf area index determination Part I. Theories, sensors and hemispherical photography. Agric. Forest Meteorol. 121:19-35.

Kucharik, CH. J.; Norman, J. M.; Gower, S. T. (1998). Measurements of branch area and adjusting leaf area index to indirect measurements. Agric. Forest Meteorol. 91:69- 88.

Monteith, J. L. (1981) . Climatic variation and the growth of crops. Quart. J. Royal Meteorol.Soc. 107: 749-774.

Mussche, S., Samson, R., Nachtergale, L., De Schrijver, A., Lemeur, R., and Lust, N. (2001). A comparison of optical and direct methods for monitoring the seasonal dynamics of leaf area index in deciduous forest. Silva Fennica 35 (4): 373-384.

Zegbe, J. B.; Valdez, R. V.; Lara, A. H. (2012). Cultivo de Chile en México. Fitotecnia 35. México. pp 264-265.

Ojeda, B. W.; Sifuentes, I. E y Unland, W. H. (2006). Programación integral del riego en maíz en el norte de Sinaloa. Primera edición. Agrociencias 40. México. 13-25.

ROSS, J. (1981). The radiation regime and architecture of plant stands. Dr. W. Junk Publischer, The Hague, Ned. 392p.

Scott D. Robert.; Thomas J. Dean.; David L. Evans.; John W. McCombs.; Richard L. Harrington and Patrick A. Glass. (2005). Estimating individual tree leaf area in loblolly pine plantations using LiDAR derived measurements of height and crown dimensions. Forest. Ec. Man. 213:54-70.

Sonnentag, O., Talbot, J.; Chen, J.M.; Roulet, N.T. (2008). Using direct and indirect measurements of leaf area index to characterize the shrub canopy in an ombrotrophic peatland. Agric. Forest. Meteorol. 144:200-212.

Thomas, S.C., and Winner, W.E. (2000). Leaf area index of an old-growth Douglas-fir forest estimated from direct structural measurement in the canopy. Can. J. For. Res. 30: 1922-1930 (2000).

Vose, J.M., and Swank, W.T. (1990). Assessing seasonal leaf area dynamics and vertical leaf area distribution in eastern white pine (*Pinus strobes* L.) with a portable light meter. Tree Physiology 7, 125-134.