

## **Modelos empíricos que estiman la biomasa en función de la radiación interceptada y el índice de área foliar en girasol**

ESCALANTE-ESTRADA, José Alberto Salvador, RODRÍGUEZ-GONZÁLEZ, María Teresa y ESCALANTE-ESTRADA, Yolanda Isabel

J. Escalante, M. Rodríguez y Y. Escalante

D. Sepúlveda, F. Rérez, D. Sepúlveda, E. Figueroa, R. Salazar, L. Godínez (eds.) Matemáticas Aplicadas. Handbook T-I. -©ECORFAN, Texcoco de Mora-México, 2016.

## Abstract

The objectives of this study were to determine in sunflower, empirical models that relate: a) the radiation intercepted (RI) with the leaf area index (LAI); b) dry matter (DM) with the RI; c) the distribution of solar radiation in the canopy (DRC); and d) if the measures of RI with the linear sensor of quantum (LSQ) and the meter stick (MS) presented a high ratio. The sunflower cv. "Victoria Mejorado" was sown on 8 May, to 5.7 plants m<sup>-2</sup>, under rainfall conditions at Montecillo Méx., Mexico of temperate climate. Every 20 days recorded the LAI, the DM (g m<sup>-2</sup>), the RI with the LSQ and MS. To 65 days of planting the DRC with the SLQ. With a 98% confidence, the RI can be estimated through the LAI; and the DM with the RI and the LAI. The measure of RI with the MS is high reliability. The exponential model was the better adjustment for such relationship and for DRC.

## 6 Introducción

En un cultivo agrícola, la producción de materia seca (MS) está determinada por la radiación interceptada (RI), la eficiencia del uso de la radiación y el área foliar o maquinaria fotosintética (Escalante *et al.*, 2015). El área foliar (que se refiere a la superficie de una cara de la lámina foliar), se puede expresar por planta o por metro cuadrado de área sembrada, el cual se conoce como índice de área foliar (IAF; Escalante y Kohashi, 2015; Girardin y Tollenaar, 1994). El IAF óptimo se refiere a aquel que intercepta el máximo de radiación solar que activa la fotosíntesis (RAF). Por otra parte, el ángulo de inserción foliar, la distribución y orientación de las hojas, es determinante para que la RAF llegue a todas las hojas del dosel y ocurra la fotosíntesis. La eficiencia con lo que los diferentes estratos del dosel absorben la RAF se puede medir mediante el coeficiente de extinción o atenuación de luz (Monsi y Saeki, 1953). El patrón de hojas verticales en la parte superior y más horizontales en la parte inferior del dosel permite que las hojas superiores dejen pasar más RAF hacia las hojas inferiores, logrando que la radiación sea distribuida más equitativamente sobre el total del área foliar (Loomis y Williams, 1969). Así, en un cultivo, hojas erectas pueden presentar tasas de producción de MS más altas, debido a una mayor penetración de luz en el dosel (Williams *et al.*, 1968). Así, el ángulo de la hoja podría ser una característica a considerar en un programa de mejoramiento (Whigham y Woolley, 1974). También debido a un menor autosombreado, esto podría permitir el uso de densidades de población más altas.

El coeficiente de extinción o atenuación de luz ( $k$ ), es un parámetro que indica la magnitud de reducción de la radiación que atraviesa un dosel vegetal, el cual está en función del IAF y que finalmente es determinante para estimar la cantidad de RI por el cultivo. Este coeficiente se basa en la ley de Beer-Lambert ( $F=1-\exp(-k \text{ IAF})$ ). Así, el valor de  $k$  está en función de la especie vegetal y de los cultivares de la misma. En maíz un  $k=0.7$ , lo que indica que solo un 30% de la radiación llega al estrato inferior del cultivo (Camacho *et al.*, 1995). Bange *et al.* (1997), para girasol encontró el modelo  $RI=0.93 (\pm 0.02) [1-e^{-0.88 (\pm 0.06) \text{ IAF}}]$ , donde RI es la radiación interceptada (%), -0.88 es  $K$  e IAF es el índice del área foliar. Confalone *et al.* (2011), en haba (*Vicia faba* L.) encontraron una relación entre la RI y el IAF que respondió al modelo  $Y=1-\text{Exp}(0.75 X)$ , con  $R^2=0.95$ , donde 0.75 es el  $K$  promedio durante el estudio;  $X$  es el IAF;  $Y$  es la RI. Por otra parte, dada la importancia que representa la RI para la producción de MS de un cultivo ésta es determinante para el rendimiento de grano (Escalante, 1999), se han generado y propuesto modelos que estiman la MS con base en RI y el IAF (Escalante, 1999; Escalante *et al.*, 2015).

La mayoría de los estudios reportan para la medida del área foliar y de la RI, instrumentación cuyo costo no está al alcance de la mayoría de los investigadores, por lo que la búsqueda de metodología para tal fin que sea más económica, podría derivar en mayor número de estudios. Los objetivos de este trabajo fueron determinar en girasol (*Helianthus annuus* L.) los modelos empíricos que relacionan: a) la radiación interceptada con el índice de área foliar; b) la producción de materia seca con la radiación interceptada; c) el perfil de distribución de radiación solar en el dosel vegetal; y d) la relación entre las medidas de radiación interceptada con el sensor y con las de la regla graduada de madera.

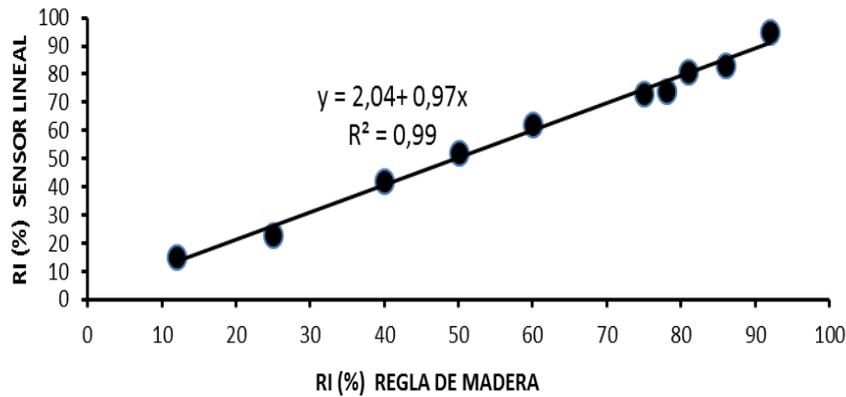
## 6.1 Materiales y métodos

El estudio se realizó en Montecillo Méx., México (19°29' N, 98° 45' W, 2,250 m de altitud) de clima templado (García, 2004) con girasol (*Helianthus annuus* L.) cv. Victoria Mejorado cultivado bajo condiciones de lluvia. La siembra fue el 8 de mayo de 2012, a la densidad de 5.7 plantas m<sup>-2</sup> en surcos de 0.80 m de separación. Durante el desarrollo del cultivo se realizaron muestreos de cuatro plantas cada 20 días (seis muestreos en total) para registrar el área foliar (mediante un integrador de área), el índice de área foliar y la producción de materia seca por m<sup>-2</sup>. La RI por el dosel se calculó con un SLQ, mediante el planteamiento  $RI = [1 - (\text{radiación incidente en la base del dosel} / \text{radiación incidente arriba del dosel})] * 100$  y con el método de la regla graduada de madera (RGM) con  $RI = (\text{cm sombreados por el cultivo en la regla} / \text{distancia (cm) entre hileras o surcos en el cultivo}) * 100$  (Adams y Arkin, 1977). Para determinar el perfil de transmisión de radiación, a los 65 días de la siembra (etapa R5 del girasol, Schneither y Miller, 1981), se realizaron medidas con el SLQ, a partir de la parte superior del dosel, cada 30 cm hacia la base del dosel. Mediante el paquete estadístico Excel y Curve Expert 3.1 se buscaron los mejores modelos de ajuste para determinar la relación entre las variables en estudio.

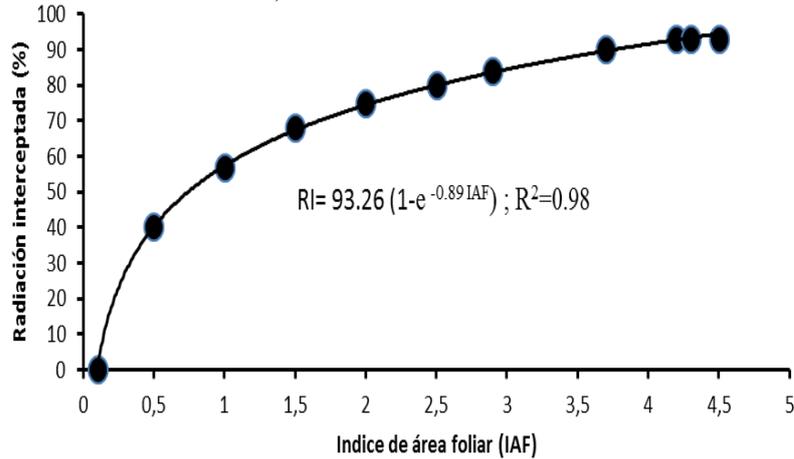
## 6.2 Resultados y discusión

La Figura 1, muestra la relación alta ( $R^2=0.99$ ) entre las medidas del SLQ con las de la RGM, lo que indica que éste último es confiable y más económico para determinar la RI por un cultivo. Así mismo, la Figura 2, indica que la RI está determinada en un 98% por los cambios en el IAF y que dicha relación responde a un modelo exponencial, donde se observa que para el cv. Victoria Mejorado, sembrado en Montecillo, bajo condiciones de régimen de lluvia, la más alta RI se logra con un IAF entre 4 y 4.5 con un coeficiente de extinción  $k = -0.89$ . Modelos semejantes han sido reportados para otros genotipos de girasol y otras condiciones climáticas, con valores cercanos de  $k$  al encontrado en el presente estudio por Bange *et al.* (1997). También en haba se ha reportado tendencia similar pero con valores de  $k$  más bajos (Confalone *et al.*, 2011). Por otra parte, debido a que el IAF es una medida de la maquinaria fotosintética (Escalante y Kohashi, 2015), es de esperarse una relación alta con la producción de MS como se observa en la Figura 3, donde dicha relación se ajusta a un modelo exponencial con  $R^2=0.98$ . Por otra parte, en la Figura 4 que presenta la relación entre MS y RI, indica que dicho comportamiento también se ajusta un modelo exponencial con un  $R^2=0.97$ . Coeficientes de determinación ( $R^2$ ) semejantes, han sido reportados para híbridos de girasol bajo condiciones de humedad residual por Escalante (1999). Esto indica que dada la dificultad de instrumentación e inversión para determinar el IAF y utilizarlo para estimar la producción de MS, la RI medida por métodos más sencillos y económicos es un indicador apropiado para estimar la producción de MS en girasol cv. Victoria Mejorado cultivado bajo las condiciones en que se condujo el presente estudio. Así mismo, en la Figura 5 se presenta el perfil de transmisión de radiación en la planta de girasol, en el cual se observa que a partir del estrato superior (150 cm), la radiación disminuye en 33, 66, 82, 89 y 94% para el estrato 120,90,60,30 y 0 cm de altura, respectivamente.

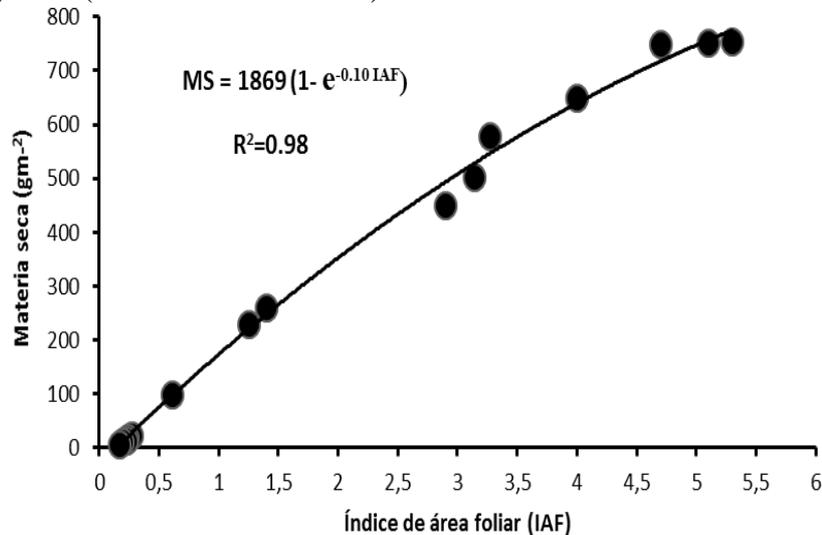
**Figura 6** Relación entre las medidas de radiación interceptada mediante el sensor lineal de quantum y medidas con la regla de madera en girasol (*Helianthus annuus* L.) cv Victoria. Montecillo Méx. Verano



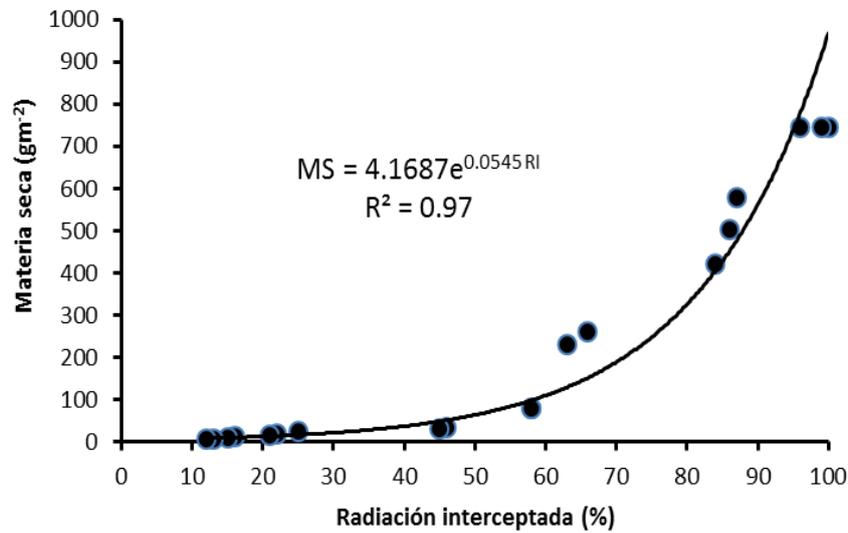
**Figura 6.1** Relación entre la radiación interceptada (%) y el índice de área foliar en girasol (*Helianthus annuus* L.) cv. Victoria. Montecillo Méx. Verano



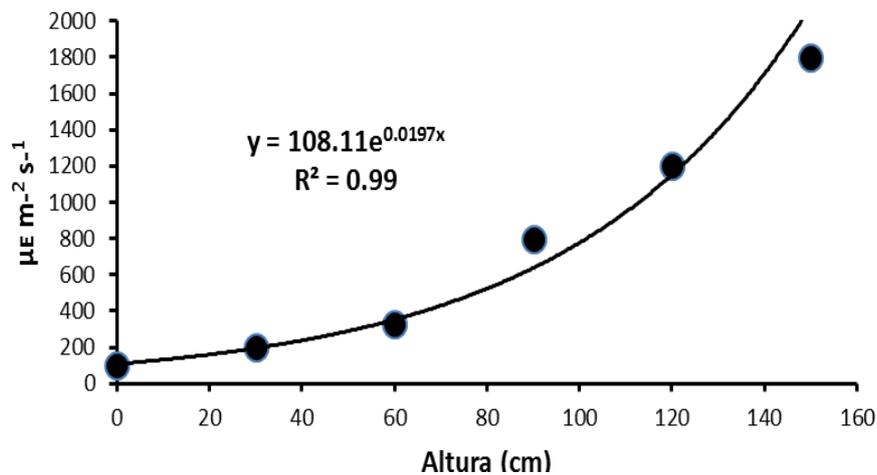
**Figura 6.2** Relación entre la producción de materia seca ( $gm^{-2}$ ) y el índice de área foliar (IAF) en girasol (*Helianthus annuus* L.) cv. Victoria. Montecillo Méx. Verano



**Figura 6.3** Relación entre la producción de materia seca ( $\text{gm}^{-2}$ ) y la radiación interceptada (RI, %) en girasol (*Helianthus annuus* L.) cv. Victoria .Montecillo Méx. Verano



**Figura 6.4** Perfil de transmisión de radiación solar a los 65 días de la siembra en girasol (*Helianthus annuus* L.) cv.Victoria. Montecillo Méx. Verano.



### 6.3 Conclusión

En el presente estudio, el modelo de ajuste que relaciona la radiación interceptada con el índice de área foliar, la producción de materia seca con el índice de área foliar y con la radiación interceptada fue del tipo exponencial con coeficiente de determinación ( $R^2$ ) superior al 0.96. La radiación interceptada puede estimarse mediante el índice de área foliar. La producción de materia seca mediante la radiación interceptada y el índice de área foliar con un 97 y 98% de confianza de que la estimación es apropiada. La medida de radiación interceptada mediante la regla de madera graduada es de alta confiabilidad. El perfil de transmisión de radiación del dosel vegetal del girasol Victoria Mejorado se ajusta a un modelo de tipo exponencial.

### 6.4 Referencias

Adams J.E. and G.F.Arkin.(1977). A light interception method for measuring row crop ground cover. Soil Sci.soc.A.J.41:789-792.

- Bange M.P., Hammer G.L., Rickert K. G. (1997). Effect of radiation environment on radiation use efficiency and growth of sunflower. *Crop Sci.* 37: 1208-1214.
- Camacho R.G., Garrido O., Lima R.G. (1995). Caracterización de nueve genotipos de maíz (*Zea mays* L.) en relación al área foliar y coeficiente de extinción de luz. *Sci. Agric. Piracicaba* 52 (2):294-298.
- Confalone A., Navarro M., Vilatte C., Barufaldi M., Aguas L., Ponce G. (2011). Crecimiento, captura de luz y componentes del rendimiento del haba cv. Alameda creciendo en Azul, provincia de Buenos Aires. *Rev. FCA UNCUYO.* 2013. 45(1): 105-116.
- Escalante Estrada, J. Alberto. (1999). Área foliar, senescencia y rendimiento del girasol de humedad residual en función del nitrógeno. *Revista Terra* 17(2):149-157.
- Escalante Estrada J. Alberto , Kohashi Shibata J.(2015). El rendimiento y crecimiento del frijol. Manual para toma de datos. Colegio de Postgraduados. Montecillo. Mpio. De Texcoco Méx. 84 pág.
- Escalante-Estrada J. Alberto S., Rodríguez-González M.T., Escalante-Estrada Y. I. (2015). Nitrógeno, distancia entre surcos, rendimiento y productividad del agua en dos cultivares de frijol. *Bioagro* 27 (2): 75-82.
- García E. (2004). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Cuarta edición. U.N.A.M., México, DF.
- Girardin P. , Tollenaar. M.(1994). Effects of interference on maize leaf azimuth. *Crop Science* 34: 151-155.
- Loomis R.S., Williams. W.A. (1969). Productivity and the morphology of crop stands: patterns and leaves. En Eastin JD, Haskins FA, Sullivan CY, Van Bavel CHM (eds), pp 28-45. *Physiological aspects of crop yield.* CSSA and ASA. Madison, WI.
- Monsi, M. , Saeki. T. (1953). Über den Lichtfaktor in den Pflanzengesellschaften und seine Bedeutung für die Stoffproduktion. *Japanese Journal of Botany.* 14: 22-52.
- Schneiter, A. , Miller, J.F. (1981). Description of sunflower growth stages. *Crop Sci.* 21: 901-903.
- Whigham D.K., Woolley. D.G. (1974). Effect of leaf orientation, leaf area, and plant densities on corn production. *Agron. J.* 66:466-482.
- Williams W.A., Loomis R.S., Duncan W.G., Dovrat A. , Nuñez. F. (1968). Canopy architecture at various population densities and growth and grain yield of corn. *Crop Sci.* 8:303-308.