

EL ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR EN PAPA ESTIMADO A PARTIR DE LA COBERTURA DEL FOLLAJE

LEAF AREA INDEX IN POTATO ESTIMATE FROM CANOPY COVER

Antonio De La Casa*, Gustavo Ovando*, Luciano Bressanini*, Jorge Martínez**,
Eduardo Ibarra* y Ángel Rodríguez*

Profesores. Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Cc 509, 5000 Córdoba.
E-mail: delacasa@agro.uncor.edu

RESUMEN

Las determinaciones del índice de área foliar (ÍÁF) y de la cantidad de radiación fotosintéticamente activa interceptada por el canopeo son requeridas en modelos de evapotranspiración y rendimiento de cultivos. Los objetivos del trabajo fueron: i) evaluar un método simple destinado a estimar el ÍÁF en el cultivo de papa; ii) verificar el alcance predictivo del método bajo distintas densidades de plantación. Las observaciones se realizaron en un lote de papa próximo a la ciudad de Córdoba, Argentina, durante los ciclos otoñales de 2005 y 2006, destinando los datos del primer año para evaluar el modelo y los del segundo para su verificación. En ambos años se utilizaron parcelas con distintas densidades de plantación. La fracción de cobertura (f) se obtuvo a partir de fotografías digitales, en tanto la radiación interceptada por el follaje (i) se determinó con un medidor del flujo de fotones fotosintéticamente activos ("interceptómetro") colocado por encima y por debajo del cultivo. El análisis de la relación entre f y i permitió establecer un valor de 0,7 para el coeficiente de extinción ($k = ki/kf$); siendo ki el coeficiente de extinción obtenido de las mediciones del interceptómetro y kf de las mediciones de cobertura, que presentó un rango entre 0,66 y 0,72 al considerar las diferentes densidades de plantación. Los valores de ki fueron relativamente constantes hasta que el cultivo alcanzó cobertura máxima. El ÍÁF derivado de f y kf tuvo un buen desempeño predictivo respecto a las mediciones del interceptómetro ($R^2 = 0,86$; $P < 0,01$), con la ventaja de requerir sólo registros fotográficos de la cobertura del follaje.

Palabras Clave: *Solanum tuberosum*; ÍÁF; modelo simple.

SUMMARY

Leaf area index (LAI) determinations and the photosynthetic active radiation intercepted by crops canopy are both required in evapotranspiration and yield crops models. The objectives of this work were: i) to evaluate a simple model for lai estimation in potato crops; ii) to verify its predictive performance for different planting densities. The experiment was carried out next to Córdoba city, Argentina, during 2005 and 2006 potatoes autumn cycles, with first year data used to develop the model and the second one to validated. In both years different planting densities were used. The fraction of the ground covered by foliage (f) was obtained with digital photographs taken vertically above the crop, and the solar radiation intercepted by foliage (i) was measured with a photons photosynthetic active density flux (septometer) located above and below canopy. The relationship between i and f was used to estimated an extinction coefficient ($k = ki/kf$) of 0,7 (being ki the extinction coefficient obtained with the ceptometer and kf from cover foliage), with a range between 0,66 and 0,72 for different density treatments. The ki values were relatively constants from emergence to maximum foliage cover. The lai calculated with f and kf showed a good performance compared to the ceptometer measurements ($R^2 = 0,86$; $P < 0,01$) and with the advantage of using photographic measures of foliage cover.

Key Words: *Solanum tuberosum*; LAI; foliage; model.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de papa, *Solanum tuberosum L.*, es uno de los principales rubros de la producción hortícola en el cinturón verde de la ciudad de Córdoba, Argentina. En este sector es habitual encontrar lotes que presentan densidad de plantación heterogénea, lo que conduce a una condición de cobertura del suelo y rendimiento desuniformes. Conocer el índice de área foliar (ÍAF) del canopeo es fundamental para estimar la productividad y consumo de agua de los cultivos.

Las mediciones directas del ÍAF son, por lo general, destructivas del material y requieren de instrumentos para integrar la superficie foliar (White *et al.*, 2000). Como una variante de este método Ovando *et al.* (1999) y Rodríguez *et al.* (2000) utilizaron fotografías digitales y técnicas de interpretación de imágenes para medir la superficie foliar y determinar el ÍAF en papa.

En otro orden de ideas, existen también métodos indirectos no destructivos que permiten realizar una determinación rápida a campo, cuyo principio de funcionamiento es la relación estrecha entre la penetración de la radiación en el follaje y la estructura de la canopia.

En su trabajo De La Casa *et al.* (2007) utilizaron uno de estos instrumentos en papa y obtuvieron resultados promisorios al comparar las determinaciones de ÍAF que produce el interceptómetro con mediciones obtenidas de fotografías digitales.

Por su parte, Gordon *et al.* (1997) desarrollaron un modelo que estima directamente la variación del ÍAF durante el ciclo basado en los principios de intercepción lumínica y eficiencia de conversión de esta energía en biomasa, y le incorporaron la influencia del estrés hídrico y las condiciones térmicas para distintas variedades de papa.

Steven (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. En papa, algunos autores sostienen el mismo razonamiento, que fue analizado para el cultivar Spunta en el cinturón verde de Córdoba (De La Casa *et al.*, 2007). Otros investigadores estimaron el ÍAF en trigo y arroz, respectivamente, despejando este valor de la ecuación de extinción lumínica de Beer (Monsi y Saeki, 1953).

El objetivo del trabajo fue evaluar un procedimiento destinado a estimar el ÍAF en papa bajo diferentes densidades de plantación utilizando información de la cobertura del cultivo.

MATERIAL Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en un cultivo de papa Spunta, durante las campañas de 2005 y 2006, a 31°30' lat. Sur, 64°08' long. Oeste, 402 m.s.n.m., Argentina. El suelo del sector es del tipo Haplustol típico, serie Manfredi, limosa fina, mixta, térmica. El ensayo se llevó a cabo a los efectos de analizar la evolución del ÍAF con diferentes densidades de plantación del cultivo, utilizando las observaciones del primer año para desarrollar el procedimiento de estimación y las del segundo año para la verificación.

Las mediciones se realizaron sobre 3 parcelas constituidas cada una por 4 camellones de 20 m de largo. El ensayo del año 2005 se plantó el 4 de febrero y consistió de 3 densidades de plantación: 3,9 pl m⁻², 6,0 pl m⁻², y 7,9 pl m⁻². En el año 2006 la plantación fue el 22 de febrero y las densidades medias correspondieron a: 5 pl m⁻², 7 pl m⁻², y 10 pl m⁻². De acuerdo a la modalidad habitual en la región, la densidad media utilizada oscila entre 5 y 6 pl m⁻². Las mediciones de cobertura (f , %) y las lecturas para determinar el ÍAF (ÍAF, m² m⁻²) se realizaron sobre los camellones centrales.

La medición de fIPAR se realizó con un interceptómetro (PAR/LAI Ceptometer, Decagon Devices, Pullman, Washington, USA). Se tomaron datos en 6 fechas desde emergencia hasta alcanzar cobertura máxima, con 5 a 7 repeticiones por tratamiento (con la barra dispuesta de manera perpendicular al surco) en distintos sectores de cada parcela experimental. Los valores de ÍAF se calcularon, a partir de las lecturas de la radiación medida por encima (PAR_a) y por debajo (PAR_d) del dosel, con la siguiente expresión:

$$ÍAF = \frac{\left[\left(1 - \frac{1}{2K} \right) fb - 1 \right] \ln \left(\frac{PAR_d}{PAR_a} \right)}{A(1 - 0,47 fb)}$$

donde K es el coeficiente de extinción lumínico, que al considerar un parámetro de distribución angular esférico ($x=1$), simplifica su cálculo a $K=1/(2*\cos \nu)$, siendo ν 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 absortividad de 0,9.

La fracción de suelo cubierto por papa (f) se determinó utilizando fotografías y técnicas de interpretación de imágenes digitales (Rodríguez *et al.*, 2000). Como algoritmo de clasificación de las imágenes se empleó el método de máxima verosimilitud. En todas las fechas el muestreo consistió de 3 fotografías verticales en distintas ubicaciones, tomando el surco entre los camellones centrales como eje longitudinal medio.

Monsi y Saeki (1953) mostraron que la transmitancia (t) media de la radiación a través de una canopia con hojas distribuidas de manera aleatoria puede ser representada por analogía con la Ley de Beer de la siguiente forma:

$$t = \exp^{-k \overline{MF}} = \frac{PAR_d}{PAR_a}$$

Así, la fracción de radiación interceptada (i) es $1-t$, o sea:

$$i = 1 - \exp^{-ki \overline{MF}}$$

y la fracción de cobertura del follaje (f) es:

$$f = 1 - \exp^{-kf \overline{MF}}$$

El valor del coeficiente de extinción k (ki/kf) se obtuvo de la relación lineal entre el logaritmo natural de la radiación transmitida (t o $1-i$) y el logaritmo natural de $(1-f)$ estudiado según Steven *et al.* (1986). Con los valores de ki , que fueron calculados con mediciones del interceptómetro a partir de t e ÍÁF, y de k , se determinó el valor de kf . Las estimaciones de ÍÁF de 2006 se realizaron, despejando de la Ley de Beer, de dos formas: (i) con t y ki ; (ii) con f y kf .

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1 se presenta la relación lineal entre el logaritmo natural de $(1-f)$ y el logaritmo natural de $(1-i)$, a los efectos de determinar el valor del coeficiente de extinción (k) para el cultivo de papa en la temporada 2005. Las relaciones lineales en todos los casos resultan significativas ($P < 0,01$) y, mientras la pendiente de la relación para el conjunto completo de datos adopta un valor de 0,7, la misma no se modifica de manera apreciable cuando la relación se establece bajo distintas densidades de plantación, ya que oscila entre 0,66 en el tratamiento de baja densidad y 0,72 para el de densidad comercial.

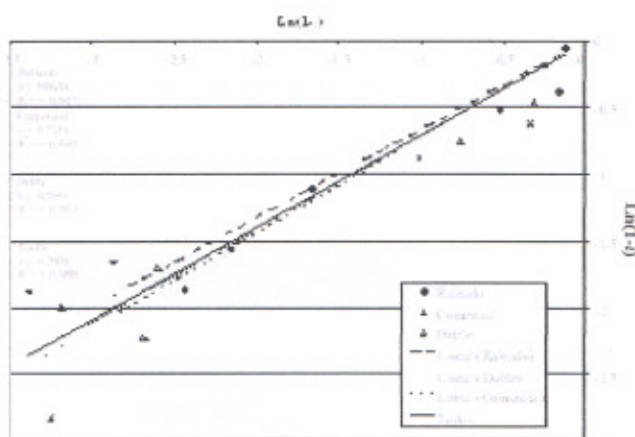


FIGURA 1. Relación entre $\ln(1-f)$ y $\ln(1-i)$ del cultivo de papa bajo diferentes densidades de plantación en 2005.

Considerando el comportamiento poco variable de k y ki (que se redondeó a 0,6), se procedió a estimar el ÍÁF a partir de los procedimientos propuestos con la información relevada el año 2006, a los efectos de conformar una instancia independiente de verificación. En la Figura 2 se presenta la relación entre los valores de ÍÁF medidos con el interceptómetro y los derivados con la metodología utilizada.

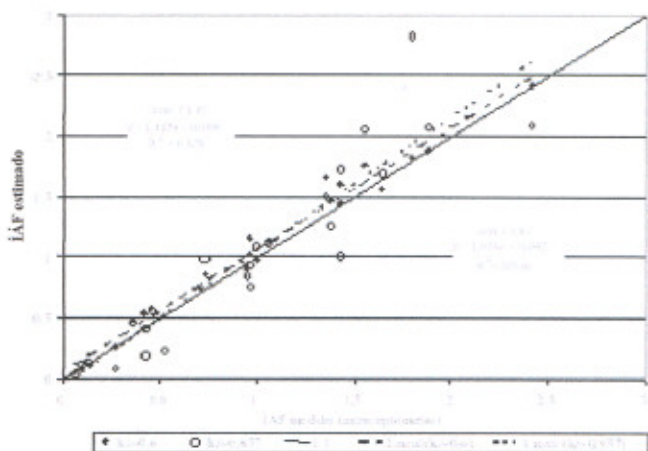


FIGURA 2. Relación entre valores de índice de área foliar (ÍÁF) medidos con un interceptómetro y las estimaciones derivadas de: (i) t y $ki = 0,6$ y (ii) f y $kf = 0,857$, con datos de 2006.

Esta metodología, además de confirmar la propuesta de Steven *et al.* (1986), permitió obtener estimaciones de ÍÁF relativamente similares a las determinaciones del interceptómetro a partir de fotografías de la cobertura del cultivo.

CONCLUSIÓN

- La estimación de ÍÁF en papa a partir de datos de la cobertura del cultivo (f) mostró ser un método adecuado, con la ventaja que supone emplear sólo fotografías digitales para su aplicación. Mientras las estimaciones de ÍÁF que se obtienen al invertir la Ley de Beer a partir de t y ki son muy similares a las lecturas que produce el interceptómetro, también son razonables las obtenidas mediante f y kf .

BIBLIOGRAFÍA

- De La Casa, A. 2007. Uso del índice de área foliar y del porcentaje de cobertura del suelo para estimar la radiación interceptada en papa. *Agricultura Técnica (Chile)*, 67:78-85.
- Gordon, R. 1997. Estimating potato leaf area index for specific cultivars. *Potato Research*, 40:251-266.
- Monsi, M. and T. Saeki, 1953. Über der lichtfaktor in den Pflanzengesellschaften und seine Bedeutung für die Stoffproduktion. *Japan. J. Bot.*, 14:22-52.
- 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 Reunión Latino Americana de Agrometeorologia, Florianópolis, Brasil. Soc. Bras. de Agrometeorologia. 2779 p. 121-127.
- 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 Agrometeorología*, 8(2):215-221.
- Steven, M. D. 1986. Foliage cover and radiation interception. *Field Crop Research*, 13:75-87.
- White, M. A. 2000. Measuring fractional cover and leaf area index in arid ecosystems. Digital camera, radiation transmittance, and laser altimetry methods. *Remote Sensing of Environment*, 74, 45-57.