

COMPARACION DE DIFERENTES INDICES DE VEGETACION PARA ESTIMAR PARAMETROS ECOFISIOLOGICOS: FRACCION DE RADIACION INTERCEPTADA E INDICE DE AREA FOLIAR

J.L. Paz Rodríguez, F.J. López Cedrón y F. Sau

fsausau@lugo.usc.es

Departamento de Producción Vexetal, Universidade de Santiago de Compostela
Escola Politécnica Superior (Campus Universitario), 27002 Lugo

RESUMEN: Los índices de vegetación (IV) constituyen una herramienta predictiva casi instantánea de uso creciente en agronomía. Para que los datos obtenidos por satélite puedan interpretarse con cierta precisión, es necesaria la realización de estudios "in situ" con espectrorradiómetros de campo que permitan establecer relaciones entre los IV y los parámetros ecofisiológicos de mayor interés.

Con este objetivo, se llevaron a cabo, en Lugo (Galicia), diferentes ensayos de campo con dos especies cuyo seguimiento por teledetección ha sido poco estudiado (*Lupinus albus*, *Pisum sativum*). Las mediciones de reflectancia tomadas en el campo permitieron establecer ecuaciones que proporcionan buenas estimaciones del índice de área foliar y de la fracción de radiación fotosintéticamente activa interceptada a partir del NDVI, el TSAVI, el PVI y el RVI.

ABSTRACT: Instantaneous estimations of the major ecophysiological parameters through vegetation indices (VI) measurements are increasingly used by agricultural policy makers. To get good parameters estimations "in situ" ground based reflectance measurements that can be directly related to parameters measured in the traditional way in a field crop assay are necessary.

To establish relationships between VI, fraction of intercepted photosynthetic active radiation and leaf area index, field experiments were conducted at Lugo (Galicia) with *Lupinus albus* and *Pisum sativum*. We conclude that good estimations of these two parameters can be obtained through NDVI, TSAVI, PVI and RVI measurements.

Palabras clave: índice de vegetación, *Lupinus albus* L., NDVI, *Pisum stivum* L., PVI, RVI, SAVI2, TSAVI.

INTRODUCCION

Un índice de vegetación espectral (IV) es una cantidad obtenida directamente o mediante cualquier transformación matemática de los datos espectrales de una cubierta vegetal para tratar de representar características de los cultivos como el índice de área foliar (LAI), el peso seco o fresco por unidad de superficie de la biomasa aérea, el porcentaje de cobertura del suelo, etc. (Jackson et al., 1980). Las medidas de reflectancia, que permiten calcular los diferentes índices de vegetación, pueden realizarse desde el suelo con un espectrorradiómetro de campo, para luego relacionarlas con parámetros ecofisiológicos como la fracción de radiación fotosintéticamente activa interceptada al mediodía solar (f_{MIPAR}), el índice de área foliar, la biomasa aérea, etc., medidos "in situ" en un ensayo de campo de agronomía clásica. Este enfoque se llama análisis de componentes espectrales (ACE) y los datos de ACE obtenidos a partir de espectrorradiómetros de campo sirven de base al seguimiento por satélite de los cultivos y de sus cosechas. Así las medidas de reflectancia

permiten obtener estimaciones casi instantáneas de la cosecha esperada, del estado hídrico, nutricional y fitosanitario de las parcelas de cultivo, o a mayor escala, de sistemas agrícolas.

Por otro lado, los modelos matemáticos de simulación de cultivos pueden cuantificar diariamente los diferentes procesos que conducen a la formación del rendimiento y de este modo, una vez calibrados y validados para una zona, obtener estimaciones fidedignas de la cosecha teórica para diferentes tipos de manejo con un suelo y unas condiciones climáticas determinadas. Se trata de una herramienta predictiva que se emplea de forma creciente para planificar el uso de la tierra, orientar las políticas agrarias y optimizar el manejo de los cultivos. La capacidad predictiva de estos modelos puede mejorarse significativamente si se ajustan los modelos introduciendo datos sobre biomasa generada en determinadas fases del desarrollo del cultivo. Estos datos de biomasa pueden ser estimados por teledetección con sensores remotos

aerotransportados o de satélite, mejorándose esas estimaciones cuando se realizan mediante métodos indirectos que incluyen la utilización de valores conocidos de eficiencia en el uso de la radiación y de la fracción de radiación fotosintéticamente activa interceptada por el cultivo (Baret et al., 1989; Chistensen y Goudriaan, 1993).

Diferentes IV han permitido obtener buenas estimaciones de LAI y de la fracción de radiación fotosintéticamente activa absorbida en los principales cultivos como el trigo y el maíz (Asrar et al., 1985; Daughtry et al., 1992) pero son necesarios más trabajos en especies menos estudiadas como el guisante proteaginoso (*Pisum sativum* L.) y el altramuz blanco (*Lupinus albus* L.).

Con el objetivo de buscar los IV mejor correlacionados con los LAI y las f_{MIPAR} para estos dos cultivos, se llevaron a cabo diferentes ensayos de campo en la Finca de Prácticas de la Universidad de Santiago de Compostela en Lugo (43.04' N; 3.30' W; 480 m de altitud) desde 1996 hasta 1998.

MATERIAL Y METODOS

Fechas de siembra: 7 de marzo y 4 de diciembre de 1996; 6 de marzo y 7 de diciembre de 1997; 28 de febrero de 1998.

Densidades de plantas y distancias entre líneas:

- Altramuz: 63 pl. m^{-2} , 0,3 m, marzo 1996; 50 pl. m^{-2} , 0,3 m y 30 pl. m^{-2} , 0,6 m, diciembre 1996; 55 pl. m^{-2} , 0,3 m y 32 pl. m^{-2} , 0,6 m, marzo 1997; 55 pl. m^{-2} , 0,3 m, diciembre 1997; y 59 pl. m^{-2} , febrero 1998.

- Guisante: 115 pl. m^{-2} , marzo 96; 64 y 90 pl. m^{-2} marzo 1997; 107 pl. m^{-2} diciembre 1997; y 114 pl. m^{-2} , febrero 1998. En guisante la distancia entre líneas fue de 0.15 m para todas las fechas de siembra.

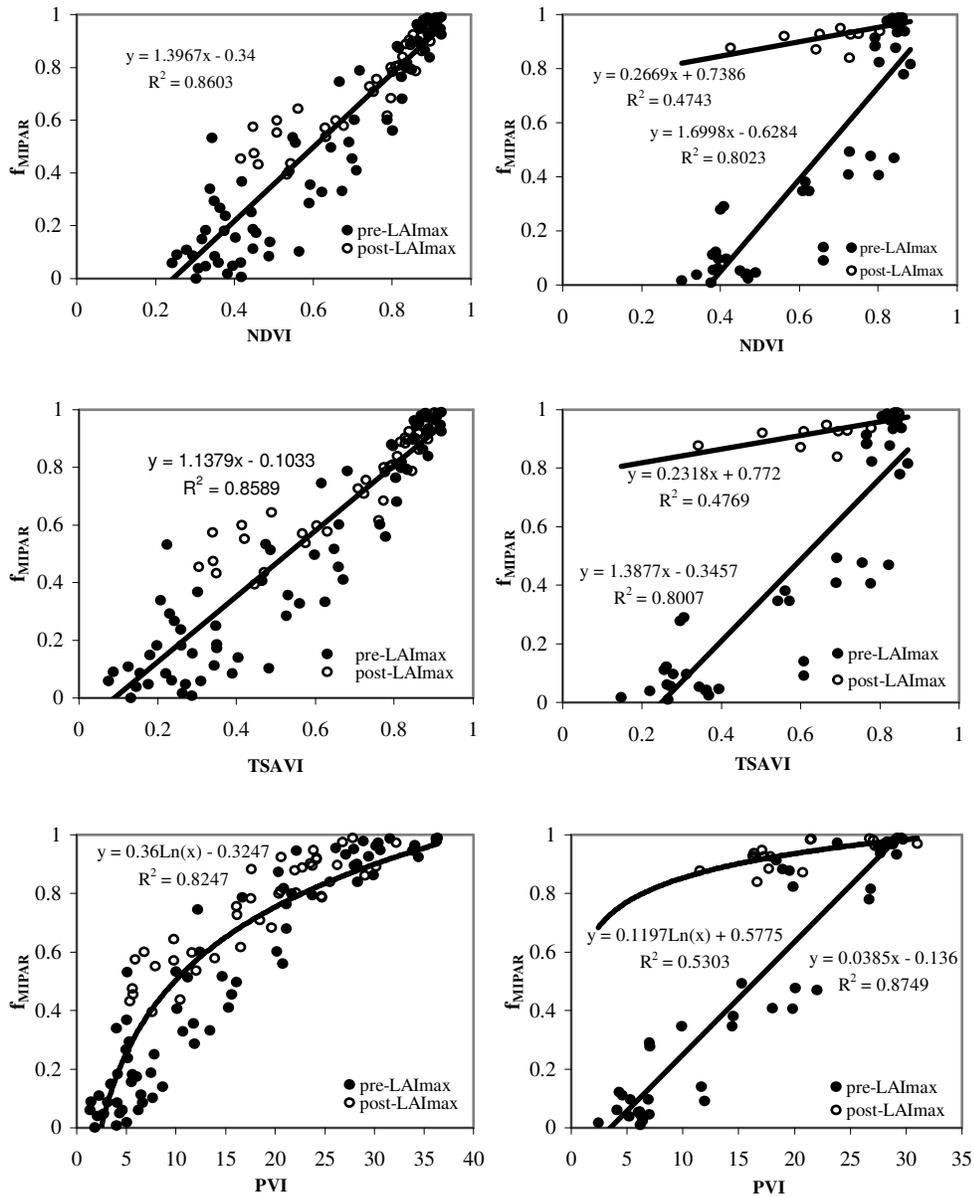
Se realizaron medidas espectrorradiométricas en el rango de 300 a 1100 nm, cada 15-20 días a lo largo de todo el ciclo mediante, un espectrorradiómetro LI-COR 1800 y un panel de referencia (Labsphere). En las mismas fechas se tomaron muestras de la biomasa aérea del cultivo correspondientes a 0.4 m^2 , se separaron tallos, peciolos, limbos y vainas, y se secaron, por separado, en estufa convectiva hasta peso constante. El LAI se estimó mediante un

medidor de superficie foliar "Delta-T Image Analysis System".

Posteriormente, se calcularon cinco IV utilizando las bandas del rojo y del infrarrojo del Thematic Mapper: a) el "Normalized Difference Vegetation Index" (NDVI; Rouse et al., 1973); b) el "Ratio Vegetation Index" (RVI; Pearson et al., 1972); c) el "Soil adjusted vegetation Index" (SAVI2; Huete, 1988, modificado por Major et al., 1990); d) el transformed Soil Adjusted Vegetation Index (TSAVI; Baret et al., 1989); e) el Perpendicular VI (PVI; Richardson et al., 1977) y se buscaron las mejores correlaciones entre IV, LAI y f_{MIPAR} . Para esto, se ajustaron cinco funciones matemáticas con el programa de estadística SPSS: (1) $y = b_0 + b_1 x$; (2) $y = b_0 + b_1 x + b_2 x^2$; (3) $y = b_0 + b_1 \ln(x)$; (4) $y = b_0 (x^{b_1})$; (5) $y = b_0 (b_1)^x$.

RESULTADOS Y DISCUSION

Parte de los mejores ajustes obtenidos están representados en la figura 1 que muestra que se pueden obtener buenas predicciones de f_{MIPAR} a partir de los IV. Se ha podido comprobar que mientras en el guisante las estimaciones de f_{MIPAR} y de LAI mejoran sensiblemente diferenciando dos fases en el cultivo: pre-índice de área folia máximo (pre-LAI_{max}) y post-índice de área foliar máximo (post-LAI_{max}). Esto no se produce en el altramuz ya que tiene un comportamiento similar tanto en pre como en post LAI_{max}. Esta diferencia de comportamiento entre las dos especies se puede atribuir al hecho de que mientras las hojas senescentes del guisante se mantienen en la planta hasta la cosecha, en el altramuz éstas van cayendo y la cosecha se produce sobre una planta prácticamente desprovista de hojas. Ridao et al. (1998) obtuvieron resultados similares trabajando con guisante (*Pisum sativum*) y habas (*Vicia faba*), ya que la distinción de dos periodos en el cultivo, sólo mejoró las estimaciones en el caso de las habas, especie que como el altramuz pierde sus hojas al final del ciclo.



Altramuz blanco

Guisante proteginoso

Figura 1: Relaciones entre diferentes índices de vegetación (IV) y la fracción de radiación fotosintéticamente activa absorbida al mediodía solar (f_{MIPAR}) para el altramuz blanco (columna de la izquierda) y el guisante proteginoso (columna de la derecha) durante los periodos pre- y post- índice de área foliar máximo (pre- y post-LAI_{max})

BIBLIOGRAFIA

Asrar, G., Kanemasu, E.T. y Yoshida, M. 1985. Estimates of leaf area index from spectral reflectance of wheat under different cultural practices and solar angle. *Remote Sensing of Environment*, 17: 1-11.

Baret, F., Guyot, G. y Major, D.J. 1989. Crop biomass evaluation using radiometric measurements. *Photogrammetria (PRS)*, 43: 241-256.

Christensen, S. y Goudriaan, J. 1993. Deriving light interception and biomass from spectral reflectance ratio. *Remote Sensing of Environment*, 43: 87-95.

Daughtry, C.S.T., Gallo, K.P., Goward, S.N., Prince, S.D. y Kustas, W.P. 1992. Spectral estimates of absorbed radiation and phytomass production in corn and soybean canopies. *Remote Sensing of Environment*, 39: 141-152.

Huete, A.R. 1988. A soil-adjusted vegetation index. *Remote Sensing of Environment*, 25: 295-309.

Jackson, R.D., Pinter, P.J., Jr., Reginato, R.J. y Idso, S.B. 1980. Hand-held radiometry. En: *Workshop of hand-held radiometry*. Phoenix, Ariz., Febrero, 25-26, 1980.

Major, D.J., Baret, F. y Guyot, G., 1990. A ratio vegetation index adjusted for soil brightness. *International Journal of Remote Sensing*, 11,5: 689-695.

Pearson, R.L. y Miller, L.D. 1972. Remote mapping of standing crop biomass for estimation of the productivity of the short-grass prairie, Pawnee National Grassland, Colorado. En: *Proc. 8th International Symposium on Remote Sensing of Environment, ERIM*, Ann Arbor, MI, 1357-1381.

Richardson, A.J. y Wiegand, C.L. 1977. Distinguishing vegetation from soil background information. *Photogramm. Eng. Remote Sens.* 43: 1541-1542.

Ridao, E., Conde, J.R. y Mínguez, M.I. 1998. Estimating fPAR from nine vegetation indices for irrigated and nonirrigated faba bean and semi-leafless pea canopies. *Remote Sensing of Environment*, 66: 87-100.

Rouse, J.W., Jr., Hasas, R.H., Shell, J.A. y Deering, D.W. Monitoring the vernal advancement and

retrogradation (green wave effect) of natural vegetation. En: *Prog. Rep. 1978-1, Remote Sensing Center*, Texas A&M Univ., College Station, 93 pp. (NTSIS n° E73-10693).

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo de investigación fue financiado por la Consellería de Educación e Ordenación Universitaria de la Xunta de Galicia mediante el proyecto XUGA29107 A96 y la concesión de una beca predoctoral.

