

VALIDACIÓN DE UN MODELO 3D PARA LA ESTIMACIÓN DE RADIACIÓN INTERCEPTADA EN CUBIERTAS HETEROGÉNEAS MEDIANTE IMÁGENES DE ALTA RESOLUCIÓN ESPACIAL

M. L. Guillén-Climent (*), P.J. Zarco-Tejada (*), J.A.J. Berni (*) y F.J. Villalobos (*) (**).

(*) *Instituto de Agricultura Sostenible, IAS-CSIC. Alameda del Obispo, s/n. 14004, Córdoba.*
mariluzguillen@ias.csic.es

(**) *Dpto. de Agronomía, Universidad de Córdoba. Campus de Rabanales 14071, Córdoba.*

RESUMEN

En este trabajo se llevó a cabo la validación del modelo 3D de transferencia radiativa FLIGHT para la estimación de la fracción de radiación fotosintéticamente activa absorbida (fAPAR) en cubiertas heterogéneas. El modelo permite simular cubiertas de tipo discontinuo evaluando la relación entre la energía reflejada y absorbida en función de distintos parámetros como la estructura de la plantación, geometría de visión o las propiedades espectrales del suelo y la vegetación. El estudio fue llevado a cabo en cultivos de melocotón y naranjo, pertenecientes a fincas comerciales situadas en las provincias de Córdoba y Sevilla. De cada plantación, se tomaron imágenes multiespectrales de alta resolución mediante un vehículo aéreo no tripulado (UAV) en zonas de estudio con un amplio rango de heterogeneidad estructural, donde se realizaron medidas ópticas foliares, estructurales y de interceptación de radiación. El sensor utilizado para la toma de imágenes fue una cámara multiespectral de 6 bandas y 10 nm FWHM, obteniendo los datos de radiación interceptada para validación de fAPAR mediante ceptómetro en el momento del vuelo del UAV. Los errores obtenidos en la estimación de fAPAR usando el modelo FLIGHT fueron de 10% RMSE, permitiendo parametrizar la relación NDVI vs fAPAR para distintos rangos estructurales, de geometría de visión y tipos de suelo en este caso complejo de cubiertas agrícolas discontinuas.

ABSTRACT

A study was conducted to evaluate the 3D radiative transfer model FLIGHT to estimate fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation (fAPAR) in heterogeneous canopies. The FLIGHT 3D canopy model enables simulation of the effects of different input parameters on fAPAR, such as the orchard architecture, planting grid, solar geometry and background artifacts. The study was conducted over two commercial peach and orange orchards located in Córdoba and Seville, where study areas showing a gradient in heterogeneous structure were selected. High resolution multispectral imagery was acquired by an unmanned aerial vehicle (UAV). The multispectral sensor used in this study was a 6-band multispectral camera with 10nm FWHM bands, using a ceptometer for ground truth data of intercepted radiation. Estimates for radiation interception using a modeling approach yielded errors below 10% RMSE.

Palabras clave: teledetección, fAPAR, NDVI, cubiertas heterogéneas, alta resolución espacial.

INTRODUCCIÓN

La radiación solar es la principal fuente de energía para los procesos fisiológicos que se llevan a cabo en las plantas. La fracción de radiación solar absorbida en el rango espectral comprendido entre 400-700 nm corresponde a la radiación utilizada en la fotosíntesis, por lo que se denomina radiación fotosintéticamente activa (PAR) y es aproximadamente el 45 % de la radiación solar global. La radiación PAR es el factor medioambiental que determina principalmente el crecimiento de las plantas (Mariscal et al., 2000). Habitualmente, la superficie foliar es un buen indicador de la capacidad del cultivo para interceptar radiación (Villalobos et al., 2002). Sin

embargo, hay que considerar que en cultivos arbóreos discontinuos, la cantidad de PAR que intercepta un árbol es afectado tanto por propiedades ópticas y arquitectura de la cubierta vegetal (Ross, 1981), como por la densidad de plantación, orientación y distribución espacial de la superficie foliar (Robinson y Lakso, 1991; Sinoquet, 1993).

Así, en el estudio llevado a cabo tenemos como objetivo desarrollar metodologías para la estimación mediante teledetección de la radiación solar absorbida en las bandas de PAR e infrarrojo cercano (IR) en cubiertas heterogéneas, haciendo uso de FLIGHT (North, 1996), un modelo 3D de transferencia radiativa que nos permite simular distintos escenarios de plantación.

METODOLOGÍA

Zona de estudio

La toma de imágenes y las diferentes medidas ópticas foliares, estructurales y de interceptación de radiación se efectuaron en dos fincas comerciales de melocotón, en Córdoba (37° 48'N, 4° 48'W), y naranjo, localizada en Sevilla (37° 20', 5°50'W). En cada una de ellas se seleccionaron zonas con un amplio rango de heterogeneidad en cuanto a características estructurales del cultivo, como diámetro de copa, altura e índice de área foliar (IAF).

En el caso de la parcela de naranjo, las distintas áreas de estudio seleccionadas mostraron un gradiente de IAF que varió entre 1.3 y 4, alturas de árboles entre 1.5 y 3.5 m y diámetros de copa entre 1.8 y 4.5 m, siendo el marco de plantación de algunas zonas de 7x3 m y 6x3 m en otras (Figura 1a).

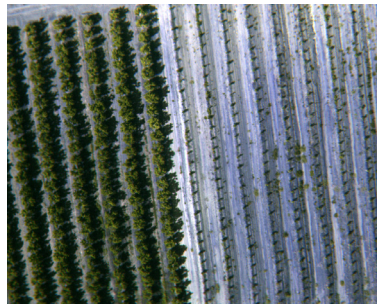
Toma de datos

Para las medidas de radiación interceptada se usó un ceptómetro (SunScan Canopy Analysis System, Delta-T Devices Ltd, Cambridge, Gran Bretaña). La toma de datos se realizó entre los cuatro árboles centrales de cada una de las diferentes zonas de estudio en el momento del vuelo del UAV.

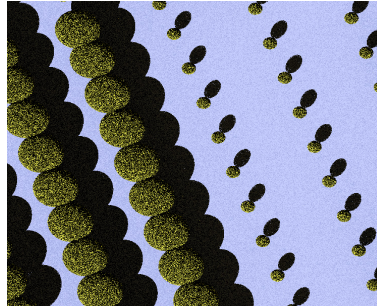
El sensor multiespectral usado fue una cámara multiespectral de 6 bandas (MCA-6, Tetracam, Inc., California, Estados Unidos), con longitudes de onda centradas en 470, 530, 550, 570, 700 y 800 nm y 10nm de ancho de banda (FWHM). Para el cálculo de NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) se usaron las bandas centradas a 670 y 800 nm.

Simulaciones con FLIGHT

Las simulaciones realizadas con el modelo de transferencia radiativa FLIGHT (North, 1996), en las que se representaron escenarios de plantación equivalentes a las zonas de estudio (Figura 1b), fueron validadas con las medidas de radiación interceptada tomadas por el ceptómetro. El modelo FLIGHT permitió a su vez simular los efectos de diferentes parámetros de entrada, características estructurales del cultivo, marcos de plantación y la reflectancia de suelo sobre el NDVI, entre otros.



a



b

Figura 1.-a) Imagen de la finca de naranjo adquirida por el sensor multiespectral (MCA-6).
b) Imagen simulada obtenida con FLIGHT.

RESULTADOS

Una primera aproximación a la estimación de la radiación interceptada mediante uso de la teledetección en cubiertas discontinuas se obtuvo mediante el análisis de la relación entre índices de vegetación (NDVI, SR, VIS) calculado a partir de las imágenes multiespectrales tomadas desde el UAV y radiación interceptada medida con el ceptómetro en las distintas zonas de estudio (Figura 2). La reflectancia agregada de cuatro árboles, incluyendo suelo y sombras, fueron usadas para obtener el NDVI de cada zona que fue relacionado con la radiación interceptada medida en cada una de ellas, tanto en naranjo como en melocotonero. En la Figura 2 se observa la estrecha relación existente entre este índice y la radiación interceptada, $r^2=0.92$ en melocotón y $r^2=0.89$ en naranjo. A continuación, se estudió la relación entre la radiación interceptada medida por el ceptómetro y la simulada por

FLIGHT para su validación. Se puede observar que el modelo FLIGHT infraestimó la radiación interceptada, con un error medio cuadrático inferior al 10% (Figura 3). Estos resultados demuestran el potencial para estimar radiación interceptada mediante la combinación de índices y simulación mediante un modelo 3D. Finalmente se evaluó la influencia de parámetros como reflectancia de suelo, geometría solar y fracción de cobertura sobre el índice NDVI mediante el modelo FLIGHT. Un ejemplo es ilustrado en Figura 4, mostrando cambios en el NDVI en función de distintos tipos de suelos para la misma fracción de cobertura. Esto indica que no puede establecerse una relación general entre NDVI y radiación interceptada, sino como función de estos parámetros.

CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio demuestran que el NDVI agregado de copa, suelo y sombras obtenido mediante alta resolución espacial es un indicador potencial de la radiación interceptada en cubiertas de tipo heterogéneo. Sin embargo, simulaciones realizadas con el modelo de transferencia radiativa FLIGHT demuestran que el NDVI está altamente influenciado por parámetros de tipo estructural y espectral, por lo que se hace necesaria una correcta parametrización. FLIGHT demostró ser una buena alternativa para estimar radiación interceptada en cultivos de melocotón y naranjo. Los errores obtenidos en la estimación de radiación interceptada usando el modelo FLIGHT fueron de 10% RMSE, por tanto permitiendo parametrizar la relación NDVI vs radiación interceptada para distintos rangos estructurales, porcentaje de cubierta, geometría de visión y tipo de suelo.

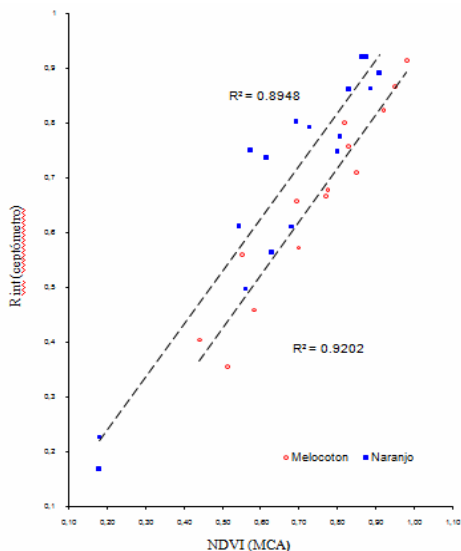


Figura 2.- Relación entre radiación interceptada medida con ceptómetro y NDVI (imagen) para cultivos de melocotón y naranjo.

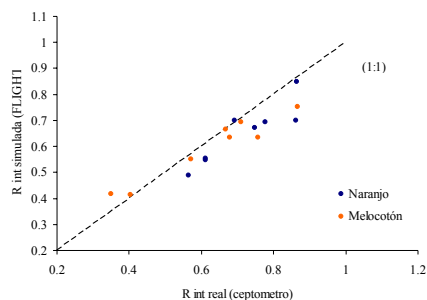


Figura 3.- Relación entre radiación interceptada medida y simulada para cultivos de melocotón y naranjo.

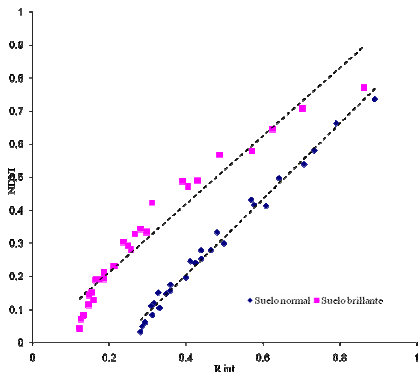


Figura 4.-Efectos del suelo en la relación NDVI vs radiación interceptada obtenida mediante simulaciones realizadas con FLIGHT para dos tipos de suelo.

BIBLIOGRAFÍA

Mariscal M.J. et al. 2000. Modelling and measurement of radiation interception by olive canopies. *Agricultural and Forest Meteorology*, 100:183-197.

North P.R.J. 1996. Three dimensional forest light interaction model using Montecarlo method. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 34(5):946-956.

Robinson, T., Lakso, A., 1991. Bases of Yield and Production Efficiency in Apple Orchard System. *Journal American. Society Horticulture. Science*, 116(2): p. 118-192.

Sinoquet, H. 1993. Modelling radiative transfer in heterogeneous canopies and intercropping systems. P. 229-252. En C. Varlet-Grancher, R. Bonhomme and H. Sinoquet (ed.) *Crop structure and light microclimate*. INRA, Paris.

Ross J. 1981. The Radiation Regime and Architecture of Plant Stands. Dr W. Junk Publishers, *The Hague*, The Netherlands, p. 391

Villalobos F.J. et al. 2002. *Fitotecnia. Bases y Tecnologías de la Producción Agrícola*. Ed. Mundi-Prensa, Madrid, 1-493.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio es financiado por AGR-595 de la Conserjería de Innovación, Ciencia y Empresa (Junta de Andalucía, Spain).