

INFLUENCIA DE LA GEOMETRÍA DE ADQUISICIÓN EN EL NDVI

A. Vercher, F. Camacho-de Coca y J. Meliá

aleixandre.verger@uv.es

*Departament de Termodinàmica. Facultat de Física. Universitat de València.
C/Dr. Moliner, 50. 46100 Burjassot (València)*

RESUMEN

En este trabajo se estudia la dependencia que presenta el NDVI con la geometría de adquisición y se analiza en qué medida la anisotropía de éste afecta a la estimación de parámetros biofísicos de la cubierta vegetal como el LAI (*Leaf Area Index*). El estudio se ha realizado con datos del sensor aerotransportado de gran campo de visión POLDER (*POLarization and Directionality of the Earth's Reflectance*) sobre una zona de cultivos localizada en Barrax (Albacete). En particular, se ha analizado, para tres ángulos de iluminación diferentes, la influencia del ángulo cenital de observación en el NDVI, tanto en el plano de observación principal como en el ortogonal. Los resultados muestran que los valores que toma el NDVI dependen en gran medida de los ángulos que definen la configuración de medida, especialmente en el plano principal y para una cobertura vegetal intermedia, lo cual se traduce en fuertes desviaciones en la estimación del LAI.

ABSTRACT

In this work, the influence of the acquisition geometry in the NDVI and its implications in LAI retrieval have been analysed. Multiangular airborne POLDER data over a agricultural test site located in Barrax (Albacete) have been used. In particular, the influence of the view zenith angle in both the NDVI have been studied under three different sun zenith angles, in the principal plane as well as in the orthogonal planes. The results show the high anisotropy of NDVI as a function of illumination/view angles, mainly in the principal plane and when considering sparse vegetation canopies. As a consequence, these uncertainties are affecting the retrieval of LAI.

Palabras clave: NDVI, anisotropía, geometría de adquisición, POLDER.

INTRODUCCIÓN

Las superficies naturales y, en particular, las cubiertas vegetales, no se ajustan a un modelo de difusión lambertiano y, por lo tanto, su reflectividad presenta un comportamiento anisótropo. Las propiedades espectro-angulares de la reflectividad de una cubierta vegetal pueden caracterizarse mediante la función de distribución de la reflectividad bidireccional o BRDF (*Bidirectional Reflectance Distribution Function*). Podemos explicar la dinámica de la BRDF como se describe en Camacho-de Coca *et alii.* (2003a) en función de dos efectos: el *gap effect* (efecto hueco) y el *backshadow effect* (efecto de dispersión direccional). Siempre que no se pretenda explotar la dependencia angular de la reflectividad, ésta introduce un factor de variabilidad en la señal que debe ser tratado como un 'ruido' que enmascara la información de interés. En este sentido, en el cálculo de los índices espectrales de vegetación la anisotropía de la reflectividad constituye una perturbación que debemos minimizar en lo posible, análogamente a como, por ejemplo, se corrige en la señal el efecto del suelo de fondo o de la atmósfera.

La anisotropía produce incertidumbre en la interpretación del significado físico de los índices de vegetación que han sido diseñado para una observación vertical y que serán sensibles a la geometría de adquisición.

El efecto de la anisotropía afecta principalmente a sensores con un gran FOV como, por ejemplo, los futuros sensores de EUMETSAT, el SEVIRI (FOV $\pm 90^\circ$) a bordo del MSG o el AVHRR3 (FOV de $\pm 55.4^\circ$) a bordo del EPS y, en menor medida, a sensores como el TM (FOV de $\pm 15.39^\circ$) de LANDSAT.

En este trabajo se analiza la influencia de la geometría de adquisición en uno de los índices de vegetación más utilizados, el NDVI. Para ello se han utilizado datos de avión del sensor POLDER (*POLarization and Directionality of the Earth's Reflectance*) adquiridos sobre una zona de cultivos localizada en Barrax (Albacete) durante la campaña de Junio de 1999 del proyecto DAISEX (*Digital Airborne Imaging Spectroradiometer Experiment*) (ESA, 2001). POLDER es un radiómetro

especialmente diseñado para medir los efectos direccionales y permite registrar una gran variabilidad angular en cada imagen. El análisis de los datos POLDER nos permite estimar, sobre diferentes superficies de cultivo y para distintas condiciones de iluminación, los valores que toma el NDVI en función del ángulo cenital de observación.

El interés de este estudio reside en cuantificar los errores que se pueden producir cuando se utiliza el NDVI para estimar parámetros biofísicos de la cubierta vegetal sin tener en cuenta los efectos de anisotropía, especialmente en sensores con un gran FOV. Por ello, se analiza como afecta la anisotropía del NDVI en la estimación del LAI (*Leaf Area Index*).

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Zona de estudio

El área de estudio, localizada en Barrax (Albacete), corresponde a una ventana de 5x5 km², cuyo extremo superior izquierdo tiene de coordenadas UTM (km): (576 E, 4326 N). En esta zona podemos encontrar una gran variedad de cultivos: alfalfa, maíz, cebada, trigo, legumbres y remolacha, distribuidos en extensas parcelas, idóneas para estudios de teledetección desde avión.

En nuestro estudio hemos seleccionado tres superficies: una parcela de trigo que presenta una cubierta continua, una de remolacha con una cobertura intermedia y un suelo desnudo para comprender el comportamiento de las cubiertas abiertas. La Tabla 1 resume las características estructurales de las parcelas seleccionadas.

Parcela	FVC (%)	LAI*	H (m)*
Trigo	0.97 ± 0.03	1.56 ± 0.21	0.7-0.85
Remolacha	0.55 ± 0.07	0.62 ± 0.10	0.1-0.15
Suelo desnudo	0.03 ± 0.02	0	-

Tabla 1. Características estructurales de las muestras seleccionadas, FVC (Fracción de Cobertura Vegetal), LAI (*Leaf Area Index*) y H (Altura). Fuente: (*) Medidas *in situ* durante la campaña de campo. FVC obtenida con datos HyMap (*Hyperspectral Mapping*) (ESA, 2001).

Datos POLDER

En el presente trabajo, utilizamos datos de avión que fueron adquiridos con el sensor aerotransportado POLDER en el transcurso de la campaña DAISEX-99. En concreto, los vuelos se

efectuaron el día 3 de Junio al mediodía (primera adquisición a las 11:29 hora solar, ángulo de iluminación medio $\theta_i=17^\circ$), y el día 4 de Junio por la mañana (primera adquisición a las 07:16 hora solar, ángulo de iluminación medio $\theta_i=55^\circ$) y por la tarde (primera adquisición a las 13:57 hora solar, ángulo de iluminación medio $\theta_i=35^\circ$). El NDVI se calculó a partir de los valores de reflectividad en las bandas 5 (centrada en 670 nm) y 9 (centrada en 864 nm) de POLDER (ESA, 2001). Una descripción detallada de los datos POLDER registrados en DAISEX, y su tratamiento se puede encontrar en Camacho-de Coca *et alii.* (2003a)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las gráficas de la Figura 1 representamos el NDVI en función del ángulo cenital de observación en las distintas parcelas de cultivo seleccionadas (véase Tabla 1) para los tres ángulos de iluminación diferentes en que se adquieren las medidas. Este análisis se realiza tanto en el plano de observación principal (líneas continuas) como en el plano ortogonal (líneas discontinuas). El ángulo cenital de observación toma valores negativos cuando la contribución a la reflectividad proviene de la dispersión hacia delante (*forward*), y ángulos positivos cuando la dispersión proviene de la retrodispersión (*backward*).

Entre las tres parcelas estudiadas, como se aprecia (Figura 1), la anisotropía es más acusada en la de remolacha (cobertura intermedia), siendo más suave en las parcelas de suelo desnudo y de trigo (cubierta continua).

El NDVI exhibe un comportamiento general con respecto al ángulo cenital de observación: aumenta con el ángulo en la dispersión hacia adelante y disminuye en la retrodispersión (Figura 1). Sin embargo, si atendemos a los mecanismos físicos que gobiernan la BRDF (Camacho-de Coca *et alii.*, 2003a), en particular al *gap effect*, cabría esperar que al aumentar la proporción de vegetación observada a medida que lo hace el ángulo cenital de observación el valor del NDVI también aumentara en todos los casos y no solamente en el *forward*. La distinta respuesta angular que manifiesta el NDVI en el *forward* y en el *backward* se puede explicar atendiendo a la dependencia espectral que muestra la variación angular de la reflectividad. En particular, la banda del rojo aumenta en mayor proporción que la del infrarrojo cercano en el *backscatter* lo que implica una disminución del NDVI.

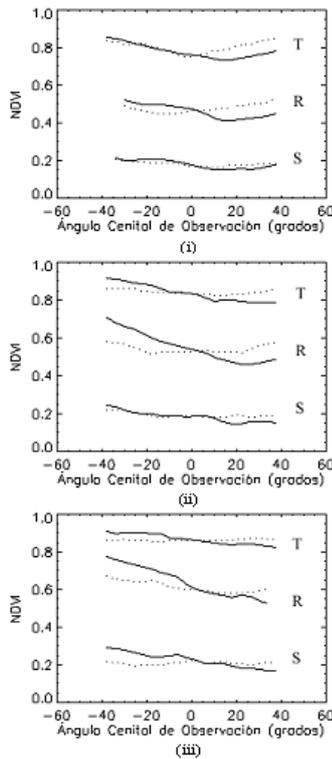


Figura 1. Variación del NDVI con el ángulo cenital de observación en las tres parcelas seleccionadas: Trigo (T), Remolacha (R) y Suelo (S), y para los tres ángulos de iluminación diferentes en que se adquieren las imágenes POLDER: (i) 17°, (ii) 35°, (iii) 55°. Las trazas continuas representan el comportamiento del NDVI en el plano principal y las discontinuas se refieren al plano ortogonal.

Por otra parte, el NDVI exhibe un comportamiento claramente diferenciado en el plano principal (P.P.) y en el plano ortogonal (P.O.) (Figura 1). Así, en el P.O. la anisotropía es mínima y ésta presenta simetría respecto al nadir, por lo que esta configuración resulta ser la más adecuada para reducir el ‘ruido’ producido por el comportamiento no lambertiano de las superficies. Mientras tanto, en el P.P. aumenta la dependencia que presenta el NDVI con respecto al ángulo cenital de observación y la anisotropía es asimétrica respecto al nadir. Además, la tendencia general del NDVI en el P.P. es sobrestimar el NDVI en el P.O. en *forward*, valores similares cerca del *nadir*, y subestimar el NDVI en el *backward*. La diferencia entre ambos planos de observación radica en la influencia que el *gap effect*

y el *backshadow effect* tienen en cada uno de los planos y que determinan que en el plano principal la cantidad de sombras perceptible por el sensor varíen notablemente dependiendo del ángulo de visión.

Respecto a la dependencia del NDVI con las condiciones de iluminación se observa (Figura 1) que, en concordancia con otros trabajos realizados por los mismos autores en esta zona de estudio (Vercher *et alii.*, 2003), el valor del índice, sobre una misma parcela y para unas determinadas condiciones de observación, aumenta con el ángulo cenital de iluminación, siendo esta tendencia más clara en la parcela de remolacha donde la anisotropía es mayor.

Esta anisotropía en el NDVI constituye una fuente de error en la estimación a partir de éste de parámetros de la cubierta vegetal, como el LAI. La formulación general que relaciona el LAI con el NDVI (Baret *et alii.*, 1989) viene dada por la expresión:

$$LAI = -\frac{1}{K} \ln \left(\frac{NDVI_{\infty} - NDVI}{NDVI_{\infty} - NDVI_{suelo}} \right) \quad (1)$$

donde $NDVI_{\infty}$ representa el valor de saturación del NDVI, es decir, el valor del índice cuando $LAI \rightarrow \infty$, $NDVI_{suelo}$ es el valor del índice correspondiente al suelo desnudo, y K está relacionado con la extinción de la radiación a través de la cubierta vegetal. La ec.1 fue calibrada empíricamente (Vercher *et alii.*, 2003) en la zona de cultivos considerada con datos del sensor HyMap (Hyperspectral Mapper) adquiridos en la misma campaña de vuelos DAISEX, resultando: $K = 0.99$, $NDVI_{\infty} = 0.93$ y $NDVI_{suelo} = 0.08$. De este modo, la ec.1 nos permite derivar el valor del LAI a partir de las medidas POLDER. Para estudiar en qué medida la anisotropía del NDVI afecta al LAI estimado, nos centramos en la parcela de remolacha donde la anisotropía es mayor y calculamos, a partir de la ec.1, el valor del LAI para cinco configuraciones de observación: *nadir*, $\pm 15^\circ$ y $\pm 30^\circ$. Los resultados de este análisis se muestran en las gráficas de la Figura 2, donde se especifica el ángulo cenital solar y se distingue, además, las observaciones efectuadas en el plano principal de las que se adquieren en el plano ortogonal.

Las discrepancias entre los valores de LAI representados (Figura 2) ponen de manifiesto que la anisotropía del NDVI supone fuertes desviaciones en la estimación del LAI de la parcela de remolacha. Así se observa que el LAI estimado presenta valores muy dispares que varían entre 0.50 y 1.51 según sea

la geometría de adquisición. Respecto a la dependencia con la geometría de iluminación, es de destacar que el LAI estimado aumenta con el ángulo cenital de iluminación y esto supone una fuente de dispersión en sus valores que llega a ser de hasta un 68% para una observación a -30° en el plano principal. Si nos centramos, para unas determinadas condiciones de iluminación, en la influencia de la geometría de observación, se aprecia claramente que una observación en el *forward* tiende a sobreestimar el LAI respecto al valor que toma en el *nadir*, mientras que en el *backward* su valor tiende a subestimarse. El LAI estimado presenta una mayor dependencia con el ángulo cenital de observación en el plano principal que en ortogonal. Así, el porcentaje de dispersión entre los valores del LAI en los cinco ángulos de observación considerados (0° , $\pm 15^\circ$ y $\pm 30^\circ$) es de hasta un 67% en el plano principal mientras que no pasa del 23% en el plano ortogonal. Se observa, además, que en el plano principal el LAI estimado presenta valores mayores que en el plano ortogonal en el *forward* y valores menores en el *backward*.

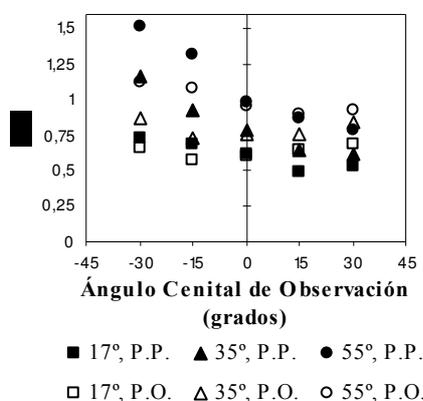


Figura 2. LAI de la parcela de remolacha estimado a partir de los valores que toma el NDVI para cinco ángulos de observación diferentes: 0° , $\pm 15^\circ$ y $\pm 30^\circ$.

Los puntos representados se señalan con distintos símbolos según sea el ángulo cenital solar (17° , 35° y 55°) y el plano de observación (Plano Principal: P.P. y Plano Ortogonal: P.O.) en que se adquieren las medidas POLDER.

CONCLUSIONES

Las principales conclusiones que se derivan de este análisis son que el NDVI incorpora la anisotropía en la BRDF que exhiben las cubiertas vegetales. La tendencia general es que una observación en

backward tendrá como resultado subestimar el NDVI con respecto al valor del nadir, mientras que una observación en el *forward* conduce a una sobreestimación. Este comportamiento se manifiesta con mayor claridad cuando la observación se efectúa en el plano principal y en una superficie vegetal con cobertura intermedia. Por otra parte, el NDVI aumenta con el ángulo cenital de iluminación. Esta respuesta anisótropa del NDVI se traduce cuando estimamos el LAI, que en el plano principal presenta una dispersión en sus valores de hasta un 70% por causa de la variación en las condiciones de observación o de iluminación consideradas en nuestro estudio.

Por tanto, es fundamental en los sensores con un gran FOV poder estandarizar las medidas a su equivalente desde el nadir, para mejorar así la interpretación de los índices de vegetación y la incertidumbre en la estimación de magnitudes derivadas como el FVC y LAI, tal y como se propone en Camacho de Coca *et alii.* (2003b) donde se evalúan éstos parámetros con datos SEVIRI.

BIBLIOGRAFÍA

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

Camacho-de Coca, F., García-Haro, J., Gilabert, M. A. y Meliá, J. 2003a. La anisotropía del BRDF: Una nueva signatura de las cubiertas vegetales. *Revista de Teledetección* (en prensa).

Camacho-de Coca, F., García-Haro, J., Gilabert, M. A. y Meliá, J. 2003b. Metodología para estimar parámetros de vegetación con datos SEVIRI/MSG: I. VMESMA normalizado de anisotropía. En esta publicación.

ESA. 2001. *Proceedings of the Final Results Workshop on DAISEX (Digital Airborne Imaging Spectrometer Experiment)*, ESA SP-499. ESA Pub., ESTEC, Noordwijk, The Netherlands, Ed. M. Wooding / R.A. Harris, 288 pages.

Vercher, A., Camacho-de Coca, F., Gilabert, M.A. y Meliá, J. 2003. Influencia del ángulo cenital de iluminación en los índices de vegetación. *Revista de Teledetección* (en prensa).

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido posible gracias a los proyectos: IDEAS (REN2002-01495) de CICYT y DAISEX de ESA.

