

ÍNDICES ANGULARES PARA EL ESTUDIO DE LA VEGETACIÓN

F. CAMACHO-DE COCA, M.A. GILBERT y J. MELIÁ

Fernando.Camacho@uv.es

Dpto. de Termodinámica. C/ Doctor Moliner, 50.
46100 Burjassot (Valencia)

RESUMEN: La variación de la reflectividad con el ángulo cenital de observación proporciona una signature angular de las superficies que contiene información relacionada con la estructura de la cubierta vegetal. Cuando dicha observación multi-angular se realiza en el plano principal, la anisotropía de la reflectividad es máxima dando lugar a la signature angular del *hot spot* que está relacionada con parámetros estructurales a diferentes escalas. Fruto del creciente desarrollo de este campo han aparecido una serie de índices derivados directamente de la signature angular del *hot spot*, para el estudio de la cubierta vegetal. En este trabajo recogemos estos índices y presentamos una nueva relación angular basada en el gradiente de la signature angular que hemos denominado NDASS (*Normalise Difference of Angular Signature Slopes*), que se presenta útil para estimar vegetación en zonas donde ésta sea muy escasa, así como para normalizar la influencia del suelo desnudo. Dicha relación ha sido obtenida a partir de un estudio de laboratorio sobre dos especies de vegetación diferentes para 5 valores diferentes de LAI.

ABSTRACT: Off-nadir reflectance measurements taken in the principal plane provides us a directional signature of the surfaces. This directional signature is related to the structure of the surfaces. Recently, several indexes based on the directional signatures have been defined. In this paper, we have reported about these indexes and we present a new index based on the gradient of the directional signature named NDASS (*Normalise Difference of Angular Signature Slopes*), which it is showed as an important relation to quantify vegetation or normalise soil contribution in arid or semiarid environments.

Palabras claves: Hot Spot, Signature Angular, Anisotropía, BRF, Cubiertas Vegetales.

INTRODUCCIÓN

Las superficies naturales y, en particular, las cubiertas vegetales, no son difusores lambertianos y, por lo tanto, la reflectividad de las cubiertas vegetales se debe interpretar teniendo en cuenta su comportamiento difusor. Para ello, utilizamos el BRF (*Bidirectional Reflectance Factor*) que caracteriza las propiedades difusoras de las superficies y, en consecuencia, muestra un comportamiento anisótropo.

Esta anisotropía en la reflectividad puede ser considerada desde dos puntos de vistas diferentes. En primer lugar, como una fuente de error, o ruido, en todas aquellas medidas de reflectividad o productos de vegetación derivados de ésta, que debemos minimizar en lo posible. En segundo lugar, como una fuente de información adicional que conviene realzar para aprovechar sus posibilidades.

Para un completo análisis de la anisotropía en el BRF de las cubiertas vegetales debemos de tener en cuen-

ta la geometría de observación, el ángulo solar de iluminación y la dependencia espectral Sandmeier *et alli.*, (1998), dicha anisotropía está relacionada con la estructura de la cubierta vegetal (LAI, altura, distribución espacial, etc.) como se ha expuesto con detalle en Camacho-de Coca (2000).

A este trabajo le acompaña, en esta misma reunión científica, otro de los mismos autores que ponen de manifiesto mediante datos de avión que en el plano ortogonal la anisotropía es mínima, siendo esta la configuración más adecuada para reducir el 'ruido' producido por el comportamiento no lambertiano de las superficies, y segundo, que el plano principal (definido por la posición solar y la normal a la superficie) es el que aumenta la anisotropía siendo, por lo tanto, el más adecuado para obtener información de las superficies a partir de la signature angular.

Efectivamente, en el plano principal se produce un mayor gradiente en la reflectividad con el ángulo de

observación. Cuando el observador se sitúa de frente al sol, el sensor recoge principalmente la radiación que es dispersada hacia delante donde aumenta la proporción de sombras visibles y, en consecuencia, disminuye la reflectividad, a cuyo mínimo se le denomina *dark spot*. Sin embargo, cuando el observador se sitúa de espaldas al sol, el sensor recoge la radiación procedente de la retrodispersión, las sombras disminuyen quedando ocultas tras los elementos iluminados. Este mecanismo conocido como *shadow-hidding* es lo que origina el *hot spot* o máximo de la reflectividad que ocurre cuando los ángulos de iluminación y de visión coinciden. Entre el *dark spot* y el *hot spot* se produce un gradiente de la reflectividad que se denomina la *Signatura Angular del Hot Spot*. Esta signatura angular contiene información relacionada con la estructura de la cubierta vegetal, a dos escalas diferentes, la escala arbórea y la escala de hoja (también denominadas escala vertical y horizontal de la cubierta respectivamente).

Cuando la medida se realiza con una baja resolución angular la información está, principalmente, relacionada con la geometría de la cubierta a escala arbórea. Es decir, información sobre la altura de la cubierta, el agrupamiento del follaje en las copas (*clumping*), o el LAI (*Leaf Area Index*) entre otros. A partir de esta signatura angular se han definido índices como el ANIX (*Anisotropy index*), relacionado con la estructura arbórea, para mejorar la clasificación de bosques, o el NDHD (*Normalise difference hotspot darkspot*) que ha sido utilizado para realizar mapas de *clumping*, que proporciona información acerca de la densidad del follaje, que puede tomar diferentes valores para un mismo LAI (Leblanc *et alii.*, 2001) entre otros.

En el caso de que podamos realizar medidas con una gran resolución angular (<0.5°) podremos conocer con exactitud la forma del pico del *hot spot*, y medir tanto la semi-anchura como la amplitud de dicho pico. La semi-anchura es un índice de la razón entre las escalas horizontales y verticales de la cubierta, depende por tanto directamente del tamaño de la hoja, además la reflectividad en el *hot spot* ha sido relacionado con la reflectividad de la hoja, pudiendo así conocer sus propiedades químicas (Breon *et alii.*, 2001).

En este estudio presentamos los resultados de una experiencia de laboratorio diseñada para estudiar cuál es la variación de la signatura angular del *hot spot* con el LAI, así como para comprobar si se manifiestan diferencias estructurales claras en la signatura angular. Para ello seleccionamos dos especies vegetales que debían de mostrar (aún siendo plantones) considerables diferencias estructurales. Además, impusimos la condición de que fuesen propias de la Comunidad Valenciana. De este modo el estudio se hizo a partir de una especie

arbórea el *Pinus Pinaster*, y de otra de matorral, el *Rosmarinus Officinalis*. Ambas presentaban diferencias en la altura, en la forma de la hoja, en su orientación y en la agrupación foliar.

El estudio tiene un especial interés por varios motivos:

En primer lugar, por la utilidad que la información angular puede tener a la hora de normalizar la influencia del suelo en zonas áridas (con LAI inferior a 1) mejorando así, por ejemplo, el cálculo de la línea de suelo, y por tanto los índices de vegetación que utilizan ésta para obtener un parámetro corrector como el GESAVI (*Generalised Soil-Adjusted Vegetation Index*) (Gilabert *et alii.*, 1998).

En segundo lugar, estábamos interesados en estudiar la posibilidad de poder discriminar especies vegetales que presentan un mismo comportamiento fenológico y que, por tanto, son difíciles de clasificar en aquellos píxeles con un mismo LAI.

Finalmente, la utilidad de incorporar información derivada de la signatura angular, en los modelos de mezcla espectral conocidos como *mixing* (García-Haro, 1996), a modo de *end-member* con lo que se consigue aumentar la dimensionalidad intrínseca de los datos y, por tanto, el número de componentes puras. El interés, obviamente, reside en la posibilidad de cuantificar a nivel sub-píxel dos tipos de abundancia vegetal que estén estructuralmente bien diferenciadas como, por ejemplo, la abundancia de tipo arbóreo y la de tipo matorral o vegetación baja. La relación entre las escalas verticales y horizontales difiere en ambos tipos de vegetación suficientemente como para encontrar diferencias apreciables en la signatura angular.

METODOLOGÍA

Para la realización de las medidas angulares diseñamos un goniómetro y un soporte especial para el radiómetro GER-3700. Colocamos la fuente de iluminación a 40° cenitales y desplazada 5° del plano del goniómetro, con lo que el plano de observación se sitúa muy próximo al plano principal.

Una vez seleccionadas las plantas se prepararon una serie de muestras variando el número de plantas con lo que conseguimos diferentes niveles de LAI, que intentamos fuesen comparables entre las dos especies vegetales. Los niveles de LAI medidos con un LAI-LICOR 2000 se detallan en la tabla 1.

<i>P. Pinaster</i>	2.4	1.7	1.1	0.8
<i>R. Officinalis</i>	2.2	1.6	1.2	0.7

Tabla 1. Valores de LAI de las diferentes muestras.

A partir de la signatura angular hay varios aspectos a tener en cuenta en la definición de los índices. El valor del *hot spot* o máximo de la reflectividad, el valor del nadir, el valor del *dark spot* o mínimo de la reflectividad y, finalmente, la pendiente del gradiente de la signatura angular.

A partir de esta signatura angular del hot spot en baja resolución angular se definen los siguientes índices:

$$NDHD(\lambda) = \frac{R_h(\lambda) - R_d(\lambda)}{R_h(\lambda) + R_d(\lambda)} \quad \text{Leblanc et al., 2001}$$

$$HDS(\lambda) = \frac{R_h(\lambda) - R_d(\lambda)}{R_d(\lambda)} \quad \text{Chen et al., 1999}$$

$$ANIX(\lambda) = \frac{R_h(\lambda)}{R_d(\lambda)} \quad \text{Sandmeier et al., 1998}$$

Todas estas son magnitudes espectrales basadas en relaciones entre el máximo, $R_h(\lambda)$, y el mínimo, $R_d(\lambda)$, de la signatura angular.

En este trabajo se introduce una nueva relación denominada *NDASS (Normalised Difference of Angular Signatures Slopes)* derivada del análisis de los datos y se discute su utilidad para el estudio de la vegetación. A diferencia de las anteriores está basada en la pendiente del gradiente de la signatura angular, y se define como sigue:

$$NDASS = \frac{m(R_{irc}) - m(R_r)}{m(R_{irc}) + m(R_r)}$$

Donde m indica la pendiente del gradiente, R_{irc} es la reflectividad en banda infrarroja y R_r la reflectividad en banda roja.

El análisis de los datos ha sido realizado mediante la primera derivada del espectro y en banda ancha, utilizando para ello el filtro onda cuadrada del sensor ETM+.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de las signaturas angulares del hot spot en banda ancha mostraron claramente una dependencia espectral relacionada con el contraste espectral del suelo y la vegetación. En las bandas azul y verde donde el suelo utilizado y la vegetación tiene una reflectividad similar, la signatura angular no mostraba dependencia con el LAI. Sin embargo, en las bandas roja e infrarroja donde el suelo y la vegetación presentan un mayor contraste espectral, la signatura angular mostraba una clara dependencia con el LAI, como se puede ver en la figura 2.

La figura 1 muestra claramente cómo cambia la signatura angular con el LAI de manera inversa en el rojo y en el irc. El gradiente entre el nadir y el *hot spot* ajusta muy bien a una recta, lo que permite estudiar la signatura angular en la retrodispersión a partir del valor del nadir y de la pendiente.

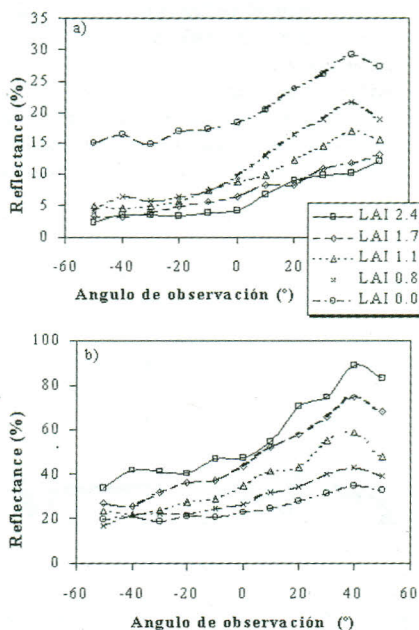


Figura 1. Signaturas Angulares para las diferentes muestras de Pino Pinaster: a) rojo, b) irc.

El estudio conjunto de las pendientes en el rojo y en el irc presentaba una correlación con el LAI, y cuyos valores extremos se pueden ver en la siguiente figura:

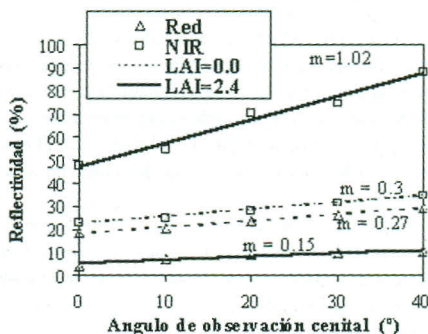


Figura 2. Pendientes de la signatura angular en el rojo e irc para LAI=0 y LAI=2.4

La figura 3 muestra la tendencia en el rojo e irc en el caso de suelo desnudo (LAI=0.0) y en el caso de la cubierta más densa (LAI=2.4). Como podemos apreciar para el suelo desnudo las pendientes del gradiente angular son paralelas, lo que contrasta con el comportamiento cada vez más divergente a medida que aumenta la vegetación. Lo que en realidad estamos viendo es que el contraste en la signatura espectral (obtenida desde el nadir) entre el suelo y la vegetación se preserva en la signatura angular y, por lo tanto, cabe la posibilidad de definir índices de abundancia de vegetación a partir de esta de una forma análoga a desde el nadir. El comportamiento para el suelo desnudo ha sido estudiado sobre 5 tipos de suelos diferentes, también en condiciones

naturales, y es de esperar que sea una norma para todo tipo de suelo ya que ocurre como consecuencia de la dependencia de las propiedades ópticas de la anisotropía. Las propiedades ópticas en los suelos no cambian de la zona roja a la irc, por lo que el NDASS debe ser muy útil para normalizar el suelo de fondo o calcular líneas de suelo para mejorar índices e incluso para estimar cantidad de vegetación escasa ya que la vegetación muestra un gran contraste espectral entre el rojo y el irc, que en cubiertas vegetales es tanto mayor cuanto mayor sea la cantidad de vegetación observada. El valor obtenido para el NDASS ha mostrado un grado de correlación con el LAI similar al del NDVI.

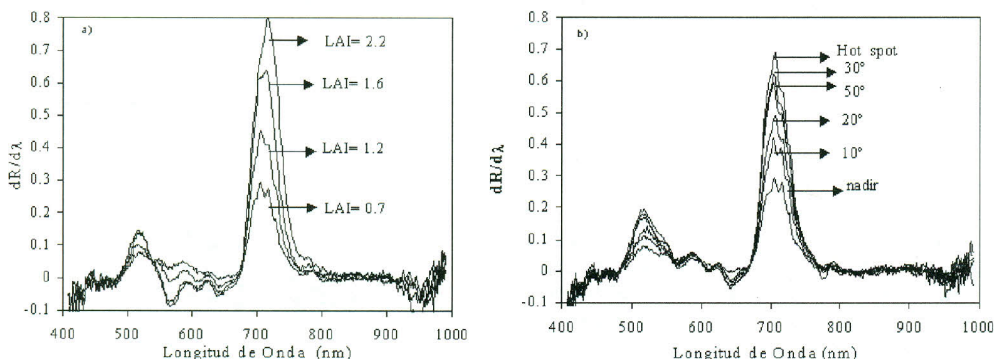


Figura 3. Primera derivada de la Reflectividad en muestras de *Pinus Pinaster*, a) medida desde el nadir para diferentes LAI, b) Medidas a distintos ángulos para LAI=0.8.

La pregunta inmediatamente posterior es si esta nueva información puede mejorar la que, de manera más sencilla, se tiene desde el nadir. Si la observación angular aumenta la contribución de la vegetación, estos índices pueden tener mucha utilidad allí donde la vegetación es escasa. Para mostrar el incremento de la contribución de la vegetación se ha calculado la primera derivada del espectro, comparando el efecto de aumentar el nivel de LAI sobre la respuesta del nadir, con el efecto de variar el ángulo de observación para una muestra de LAI=0.8.

Como se puede apreciar existe una clara similitud entre aumentar el nivel de LAI en observación vertical o aumentar el ángulo de observación. Es decir en ambos casos aumenta la contribución de la vegetación verde a la señal radiométrica. En el caso particular que se presenta podríamos hablar de una cierta equivalencia entre observar desde el Nadir una superficie de LAI 2 y ob-

servar en la configuración hot spot una superficie con LAI 0.7. Es decir, estamos triplicando la sensibilidad a la vegetación en la configuración del hot spot, si bien es cierto que este incremento dependerá también de cuál sea el ángulo cenital solar. En consecuencia, la medida angular tiene una mayor sensibilidad a la abundancia de vegetación que la medida vertical, con lo cuál los el NDASS presentado aquí será de gran utilidad en aquellas zonas donde la vegetación es especialmente difícil de cuantificar, es decir en zonas áridas o semiáridas.

BIBLIOGRAFÍA

BREON, F. M., F. MAIGNAN, M. LEROY & I. GRANT (2001). A statistical analysis of Hot Spot directional signatures measured from space. *Proceedings of the 8th Int. Sym. on Physical Measurements & Signatures on Remote Sensing*.

- CAMACHO-DE COCA, F. (2000). La anisotropía del BRF de las cubiertas vegetales: 'El efecto hot spot'. 196 pp. Tesina de licenciatura. Departamento de Termodinámica. Universitat de València.
- CHEN, J. M. *et alli.* (1999). POLDER BRDF and photosynthesis: an angular signature useful for ecological applications. Abstract to 2nd international workshop on multiangular measurements and models. Ispra, Italy
- GARCIA-HARO, J., M. A. GILABERT, & J. MELIÁ, (1996). Linear spectral mixture modelling to estimate vegetation amount from optical spectral data, *International Journal of Remote Sensing*, 17: 3373-3400
- GILABERT, M. A., J. GONZALEZ-PIQUERAS, J. GARCÍA-HARO, and J. MELIÁ (1998). Proceedings of SPIE, vol. 3499.
- LEBLANC, G. S. *et alli.* (2001). Mapping Vegetation clumping index from directional satellites measurements. *Proceedings of the 8th Int.Sym. on Physical Measurements & Signatures on Remote Sensing.*
- SANDMEIER, S., C. MÜLLER, B. HOSGOOD, and G. ANDREOLI, (1998) Physical mechanisms in Hyperspectral BRDF Data of Grass and Watercress. *Remote Sensing of Environment*, 66: 222-223.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado gracias al proyecto LandSAF (EUMETSAT) y al proyecto 'Evaluación mediante teledetección de los flujos de agua y energía en Castilla-La Mancha' (CYCIT).