

IMPLICACIONES DE LA ANISOTROPÍA DEL BRF EN LA MEDIDA CON SENSORES OPTICOS AEROTRANSPORTADOS

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

Fernando.Camacho@uv.es

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

RESUMEN: El comportamiento no lambertiano de las superficies se traduce en una respuesta anisótropa de la reflectividad. Por lo tanto, la reflectividad estará determinada por la configuración de observación e iluminación de la medida. En ocasiones se pretenderá realzar dicha anisotropía para estudiar la información contenida en ella, mientras que en otras ocasiones la anisotropía será una fuente no deseada de variabilidad en la señal y que, por lo tanto, conviene eliminar o reducir al máximo. En este trabajo se presenta un estudio acerca de la influencia que la anisotropía ejerce en la medida de la reflectividad con sensores aerotransportados. El estudio se ha realizado con datos hiper-espectrales del sensor aerotransportado de gran campo de visión (60°) HyMap, que realizó 3 vuelos con dos pasadas ortogonales entre sí sobre el área de estudio localizada en Barrax (Albacete) durante el transcurso de la campaña de 1999 del proyecto DAISEX (*Digital Airborne Imaging Spectroradiometer Experiment*) financiada por la Agencia Espacial Europea.

El estudio muestra como en el Plano Principal es donde la anisotropía es mayor, especialmente cuando el ángulo solar cenital es menor que $\frac{1}{2}$ FOV, dado que entonces el sensor recoge el *hot spot*. Por otro lado, el Plano Ortogonal es aquel que reduce en mayor grado la influencia de la anisotropía de la reflectividad. El cambio en la posición del sol también ha sido estudiado mediante el ANIFI (*Anisotropy Factor-illumination*) mostrando cambios significativos tanto en la respuesta como en la variabilidad espectral de la medida.

ABSTRACT: The anisotropic behaviour of the reflectance it is mainly related with the sun target sensor geometry. Consequently, the reflectance has a contribution due to its angular dependence. On one hand, the anisotropy can be useful to increase the information that can be retrieved from reflectance, then we should select the most suitable configuration for these purposes. On the other hand, the anisotropy can be a noise source which it is convenient to reduce for deriving biophysical parameters. In this study, we have made use of the hyperspectral capabilities of the wide-FOV airborne HyMAP data, and the several flights that were carried out in 1999 over Barrax area (Albacete) in the frame of the DAISEX (Digital Airborne Imaging Spectroradiometer Experiment) project of the European Spatial Agency. Results shows that the principal plane is the most suitable configuration for increasing the angular information, while the orthogonal plane is the configuration more adequate to smooth the anisotropic behaviour.

Palabras claves: BRF, anisotropía, *hot spot*, HyMAP, aerotransportado.

INTRODUCCIÓN

La anisotropía de la reflectividad constituye uno de los campos de investigación en teledetección donde actualmente se está trabajando más activamente. Así, podemos encontrar una serie de trabajos realizados con medidas de laboratorio, radiometría de campo, avión y satélite (Camacho de Coca, 2000) que ponen de manifiesto el carácter anisótropo de la reflectividad. Sin embargo, la potencialidad de la información angular toda-

vía no está siendo utilizada completamente y son muchas las incógnitas que quedan aún por resolver, por ejemplo, sobre cuál es la resolución angular y espectral adecuada, o sobre la obtención de información desde la *signatura del hot spot*, así como cuál es la influencia del ángulo de iluminación. Estos son algunos de los aspectos que más interesan a la agencia espacial europea (ESA) y al consorcio europeo de satélites meteorológicos (EUMETSAT) que planean el uso combinado del

SEVIRI/MSG, y del AVHRR-3/EPS, para caracterizar la anisotropía del BRF de las superficies.

Por otro lado, la teledetección aerotransportada es de gran utilidad para la comunidad científica dado que permite un mayor control de las variables que intervienen en la teledetección espacial. Así, por ejemplo, podemos diseñar vuelos según unos objetivos científicos concretos, disponer de imágenes con una mayor resolución espacial, menor influencia de la atmósfera, escoger la hora del vuelo más adecuada y disponer de datos complementarios de campo y/o de satélite, entre otras ventajas. De este modo, se adivina fácilmente el papel que este tipo de teledetección desempeña en el desarrollo de las futuras misiones espaciales. Así, son fundamentales en el calibrado y validación de sensores, y para estudios científicos que permitan, por ejemplo, la validación de algoritmos, determinar los efectos de escala o, como en el caso que nos ocupa, investigar la anisotropía del BRF de superficies naturales.

En este sentido y en el marco del proyecto DAISEX¹ (*Digital Airborne Imaging Spectrometer Experiment*), financiado por la ESA, se llevaron a cabo una serie de vuelos con el sensor aerotransportado de gran campo de visión HyMAP, en Junio de 1999 en Barrax (Albacete). Estos vuelos se diseñaron con el objetivo de estudiar la anisotropía de la reflectividad introducida por las condiciones de observación y de iluminación.

El análisis de dichos vuelos nos permite estudiar la influencia de la anisotropía sobre la reflectividad de acuerdo a los siguientes objetivos:

- Siempre que no se pretenda explotar la dependencia angular de la reflectividad, ésta introduce un factor en la señal que debe ser tratado como un 'ruido' y, por lo tanto, se pretende determinar la configuración que reduzca los efectos de la anisotropía en la señal. De este modo conoceremos la configuración más adecuada tanto para la validación de sensores electro-ópticos como para derivar parámetros de la cubierta vegetal a partir de la reflectividad.

- Por otro lado, si lo que se pretende es extraer información a partir de la dependencia angular, debemos determinar aquellas configuraciones que muestren un mayor grado de anisotropía debida a la configuración de observación y también a la influencia del ángulo de iluminación.

- Finalmente, se pretende estudiar la dependencia espectral de la anisotropía del BRF, infiriendo así las bandas espectrales más útiles para la obtención de información.

1. (<http://io.uv.es/projects/daisex/>).

METODOLOGÍA

El comportamiento del BRF depende de la geometría de observación e iluminación determinada por el ángulo cenital de observación e iluminación y por el ángulo acimutal relativo. Dicha geometría determinará el patrón de sombras visto por el sensor. En la tabla 1 se muestran los datos que determinan la configuración geométrica de los vuelos.

Nombre	Dirección	Fecha	HLS	θ_i	Φ
Bar1_12	E→W	990603	11:52	17.8°	78.9°
Bar2_12	S→N	990603	12:08	17.6°	2.1°
Bar1_08	E→W	990604	08:01	54.4°	0.5°
Bar2_08	S→N	990604	08:16	51.5°	87.2°
Bar1_15	E→W	990604	14:58	40.0°	13.4°
Bar2_15	S→N	990604	15:11	42.5°	80.5°

Tabla 1. Datos relevantes de los diferentes vuelos HLS (Hora Local Solar).

La figura 1 muestra la geometría de adquisición en el plano principal que permite obtener el efecto *hot spot*.

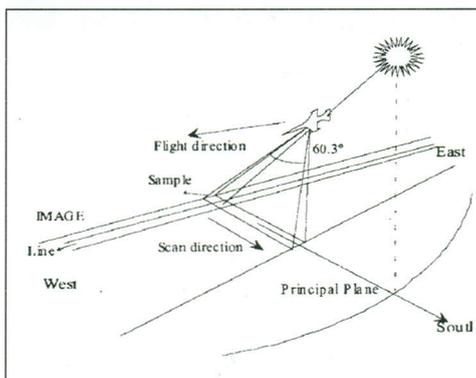


Figura 1. Esquema de la configuración de vuelo para obtener el *Hot Spot*. Imagen Bar2_12.

Para estudiar la dependencia espectral de la anisotropía asociada al ángulo de iluminación, hemos definido el factor de anisotropía debido al ángulo de iluminación, *ANIF_i*, modificando el ANIF (Sandmeier *et alii*. 1998), para que ahora sea función del ángulo cenital de iluminación, como sigue:

$$ANIF_i(\lambda, \theta_i, \theta'_i) = \frac{R_0(\lambda, \theta_i)}{R_0(\lambda, \theta'_i)} \quad [1]$$

- donde R_0 es la reflectividad obtenida desde el nadir, y se asume isotropía acimutal.

RESULTADOS

La geometría de observación viene determinada por el ángulo acimutal relativo, Φ , el cuál nos informa de la posición del plano de observación respecto al plano de iluminación o plano principal. Φ varía desde 0 (Plano Principal, P.P.) hasta $\pi/2$ (Plano 2 y ortogonal, P.O.). Para cada plano de observación, el ángulo de observa-

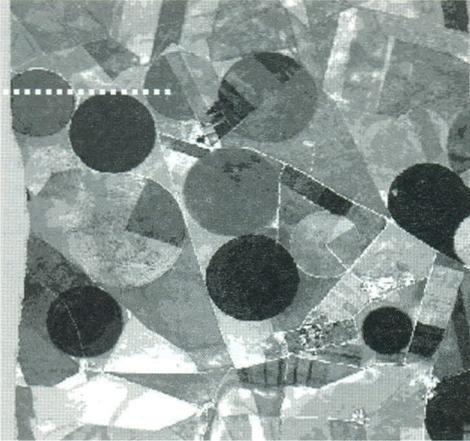


Figura 2. a) Ventana de la imagen Bar1_12, banda 9 (549 nm), adquirida en el plano ortogonal. La línea hace referencia a la línea de barrido mostrada en la figura 5.

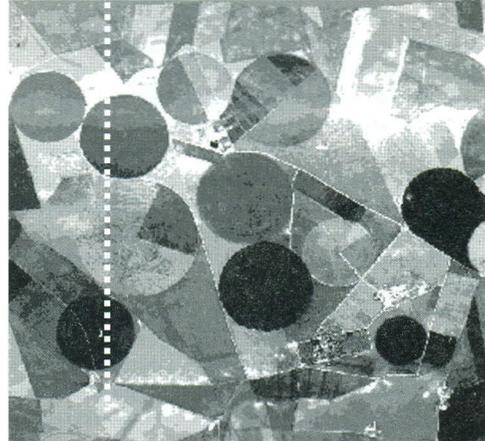


Figura 2. b) Ventana de la imagen Ba2_12, banda 9 (549 nm), adquirida en el plano principal. La línea hace referencia a la línea de barrido mostrada en la figura 5.

Los efectos que la geometría de observación tiene sobre la imagen son manifiestamente mayores cuando el ángulo de cenital solar está comprendido en el rango del FOV, en este caso de $\pm 30^\circ$, ya que comprenden la región del Hot Spot. Dichos efectos se pueden apreciar claramente en la figura 2-a) correspondiente a una adquisición en el Plano Ortogonal (P.O.) y donde no se aprecian cambios de intensidad de brillo en áreas homogéneas, y en la figura 2-b), correspondiente a la misma hora de adquisición pero ahora en el Plano Principal (P.P.), se aprecia con claridad una banda mucho más brillante que cruza la imagen. Este aumento en el brillo aparece como consecuencia de una disminución de la cantidad de sombras observada por el sensor a ese ángulo de observación, y corresponde al denominado efecto Hot Spot. La figura 3-b) representa la línea de barrido desde el nadir hasta el extremo de la imagen (30°) adquirida en el P.O., y la compara con la equivalente línea del P.P. (donde ahora el ángulo de observación es fijo). Como se puede apreciar, la respuesta de los campos (pivot) de alfalfa no varía con el ángulo de observación.

ción θ_0 tomará valores entre $-\pi/\pm\pi/2$, con ángulo cenital negativo representamos cuando la contribución a la reflectividad proviene de la dispersión hacia delante, y con ángulos positivos cuando la dispersión proviene de la retrodispersión.

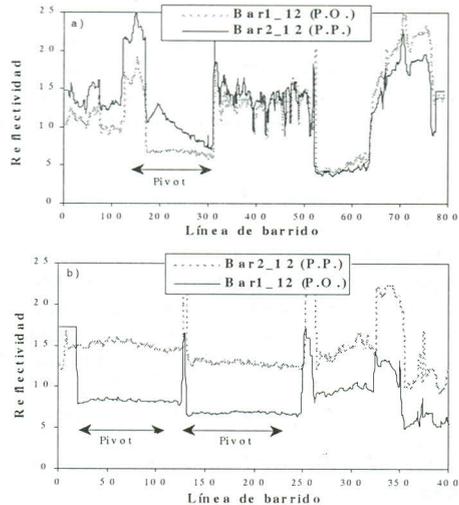


Figura 3. Variación de la reflectividad a lo largo de la línea de barrido del sensor. a) En el P.P. varía el ángulo de observación, en el P.O. es constante. b) en el P.O. varía el ángulo de observación, en el P.P. es constante.

El efecto es bien distinto cuando estudiamos la variación con el ángulo de observación en la imagen adquirida en el P.P. (Fig. 2-b) y su equivalente en el P.O. (ángulo de observación fijo) donde ahora se representa todo el FOV.

Como puede observarse, la tendencia general de la señal en el P.P. es sobrestimar la señal del P.O. en la primera parte del barrido, valores similares en el centro, y subestimar la señal en la parte final. Este efecto muestra claramente el efecto que la anisotropía del BRF ejerce sobre la señal en el P.P. La explicación reside, principalmente, en la cantidad de sombras perceptibles por el sensor, y que en este plano varían notablemente dependiendo del ángulo de visión. El máximo exponente de esta anisotropía se puede apreciar en la extensión del pivot de alfalfa. Mientras que en el P.O. no cambia su respuesta con el ángulo de observación, en el P.P. muestra un gradiente cuyo máximo es el denominado *hot spot*. Dicha signatura angular ha sido relacionada con parámetros estructurales de la cubierta como se expone en (Camacho-de Coca *et alli*, 2001).

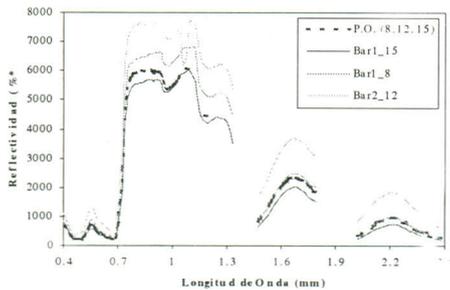


Figura 4. Signatura espectral del pivot de alfalfa bajo diferentes configuraciones de observación.

La figura 4 muestra los efectos sobre la signatura angular de alfalfa. En el P.O. la signatura no mostraba cambios significativos, y hemos representado el valor medio. Por el contrario, y a pesar de la homogeneidad de la cubierta de alfalfa, en el P.P. se producen cambios apreciables a lo largo de todo el intervalo espectral.

Finalmente, la influencia del ángulo de iluminación y la dependencia espectral se muestran en la figura 5 a través del ANIF_i, calculado desde el P.O. para minimizar los efectos del ángulo de observación.

Para el análisis hemos escogido una serie de cubiertas vegetales que varían desde el suelo desnudo hasta cobertura continua con LAI=3.6. Como se aprecia, la anisotropía es más acusada en las cubiertas con LAI bajo, siendo más suave para los extremos, suelo desnudo y cubierta continua. La dependencia espectral está aso-

ciado también con el grado de cobertura y el contraste óptico entre el suelo y la vegetación. Razón por la que, en la zona del rojo y más allá de 2000 nm, los valores son más altos llegando a superar un factor 2, lo que viene a decir que la reflectividad en esas regiones cambia hasta en un 100% su valor de la mañana al mediodía.

También se aprecia una menor anisotropía en la zona donde domina la dispersión múltiple entre 800 y 1200 nm, así como la posible influencia del contenido en agua en la región del 1600 nm.

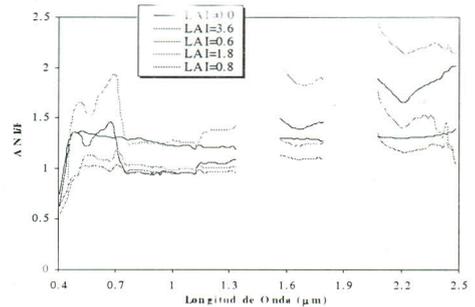


Figura 5. Factor de Anisotropía obtenido entre la imagen de la mañana y del mediodía en el P.O.

CONCLUSIONES

- La adquisición de imágenes en el plano ortogonal minimiza la anisotropía de la reflectividad, siendo el idóneo para calibración, validación o estudios agronómicos basados en la observación desde el nadir. Si la geometría de observación es diferente la imagen debe de ser corregida de los efectos de la anisotropía del BRF, que serán tanto mayores conforme nos acerquemos al plano principal.

- En el plano principal la anisotropía es máxima, por lo tanto, las diferencias en la reflectividad de una superficie con el ángulo de observación serán muy elevadas sobre todo cuando el ángulo solar de iluminación sea menor que $\frac{1}{2}$ del FOV del sensor. Este plano será de utilidad para estudiar la relación de parámetros biofísicos con la información angular que se deriva de dicha anisotropía. También para estudiar o validar algoritmos o relaciones semiempíricas que se desarrollen para obtener parámetros biofísicos con mayor precisión.

- La influencia del ángulo de iluminación también es importante debiendo planificar temporalmente con la mayor precisión la hora del vuelo, con el muestreo *in-situ* o la hora de paso del satélite.

- La anisotropía debida a la iluminación también puede ser un indicador de la estructura o estado de la cubierta vegetal, con lo que sucesivos vuelos en el plano

ortogonal introducirán nuevos elementos de juicio para el analista.

BIBLIOGRAFÍA

- CAMACHO-DE COCA, F., M. A. GILBERT and J. MELIÁ (2001). Índices angulares para el estudio de la vegetación. (*En esta publicación*)
- CAMACHO-DE COCA, F. (2000). La anisotropía del BRDF de las cubiertas vegetales: 'El efecto hot spot'. 196 pp. Tesina de licenciatura. Departamento de Termodinámica. Universitat de València.

- SANDMEIER, S., MÜLLER, C., HOSGOOD, B., and G., (1998) Physical mechanisms in Hyperspectral BRDF Data of Grass and Watercress. *Remote Sensing of Environment*, 66: 222-223.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido posible gracias al proyecto DAISEX (ESA) y al proyecto LandSAF (EUMETSAT).