

UTILIDAD DE LA RADIOMETRÍA DE CAMPO EN EL ESTUDIO DE LA REFLECTIVIDAD DE LOS COMPONENTES DE UN SISTEMA VEGETAL

M.A. GILBERT¹, M.T. YOUNIS² Y J. MELIA¹.

¹Departament de Termodinàmica, Facultat de Física, Universitat de València. València.

²Departament de Geologia, Universitat de València. València.

RESUMEN

Medidas correspondientes al factor de reflectividad de distintos componentes de una parcela de naranjos, obtenidas por radiometría de campo, se presentan y analizan en función del ángulo cenital solar y de la proporción de radiación solar difusa incidente en el sistema. Los resultados ponen de manifiesto que, como consecuencia de los cambios en el ángulo de incidencia de la radiación solar, la reflectividad presenta una curva de evolución diurna con un mínimo ligeramente desplazado del mediodía solar. Este efecto es más notable en las bandas del infrarrojo próximo y medio que en las visibles, donde se observa una mayor dispersión que parece ser consecuencia de los cambios en la irradiancia solar difusa. Se ha comprobado que el factor de reflectividad aumenta a medida que lo hace la irradiancia difusa, pero solamente hasta alcanzar un cierto valor umbral, a partir del cual la reflectividad permanece prácticamente constante.

ABSTRACT

Ground radiometry was used to gather spectral data from different targets of a citrus canopy, in order to analyze the effect of solar zenith angle causes significant changes in nadir-sensed reflectance from vegetation, which exhibits a marked diurnal pattern with a minimum slightly shifted from the solar noon. The effect is more noticeable in the near-infrared and middle-infrared regions of the spectrum. Otherwise, the visible part of the spectrum is highly influenced by the diffuse radiation incident on the canopy. It has been shown that the reflectance factor increases linearly with increasing diffuse radiation, but only below a threshold value, above which the reflectance remains constant.

1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas vegetales exhiben generalmente propiedades no Lambertianas, de modo que el factor de reflectividad bidireccional depende de los ángulos de iluminación y de observación (Colwell, 1974; Jackson et al., 1990; Smith, 1983). Este comportamiento se ha observado tanto en sistemas vegetales agrícolas (Pinter, 1986; Deering & Eck, 1987) como en superficies ocupadas por vegetación natural (Kriebel, 1978; Ranson et al., 1985) y por bosque (Kock et al., 1990; Kriebel, 1978). Así, por ejemplo, este último autor encuentra que el llamado factor de anisotropía acimutal (cociente entre el valor de reflectividad más alto y el más bajo, de entre todos los que se encuentran variando el ángulo acimutal) aumenta significativamente en la zona visible del espectro a medida que crece el ángulo cenital de incidencia, debido al efecto del sombreado que producen las estructuras verticales de los sistemas vegetales. Kriebel (1976) ha examinado también la influencia de la turbiedad atmosférica en la reflectividad de los sistemas vegetales encontrando que, para $0,52 \mu\text{m}$ y como consecuencia de la anisotropía angular de

las propiedades reflectantes del sistema vegetal, la radiación reflejada cambia un 1% por cada grado de ángulo cenital y un 1% por cada 6% de variación en la turbiedad atmosférica. Deering & Eck (1987) muestran que un aumento del espesor óptico en la atmósfera, que va acompañado por un aumento de la irradiancia solar difusa, produce un aumento de la reflectividad de la vegetación como consecuencia de la menor cantidad de sombras. Este efecto es muy dependiente de la longitud de onda. También Robinson & Biehl (1977) muestran cambios en la reflectividad como consecuencia de la luz difusa.

El presente estudio se ha llevado a cabo para analizar y cuantificar el efecto de la iluminación -en lo que respecta al ángulo cenital y a la proporción de radiación difusa- en las medidas de reflectividad efectuadas en observación vertical sobre un árbol y sobre suelo cubierto por hierba (ambos son componentes de un campo de naranjos en invierno). Estas medidas serían utilizadas posteriormente para obtener los inputs radiométricos de un modelo de reflectividad (Gilbert, 1990) desarrollado para interpretar el comportamiento espectral de los cítricos observado desde el satélite Landsat-5

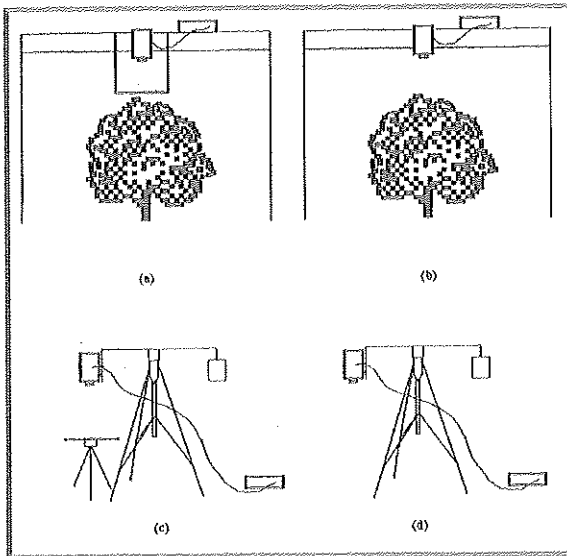


Figura 1.- Montajes experimentales utilizados para adquirir los valores de reflectividad del árbol y los de la hierba: (a) y (c) corresponden a la medida del blanco de referencia; (b) y (d) a la del sistema en estudio.

por el sensor TM (Gilabert & Meliá, 1990). Así, la principal finalidad del trabajo es desarrollar una metodología que permita obtener dichos valores en los intervalos espectrales del TM y bajo condiciones de la iluminación correspondientes a pasadas específicas del satélite por la zona de estudio, y que vienen determinadas por el ángulo de incidencia y por la proporción de radiación difusa.

2. INSTRUMENTACIÓN Y MÉTODOS

La campaña de medidas de reflectividad se llevó a cabo en un campo de naranjos situado en las instalaciones del IVIA (39,6°N, 0,4°W) durante el invierno de 1990. Todas las medidas se realizaron bajo condiciones de cielo despejado, si bien la visibilidad era variable de unos días a otros. Con objeto de documentar las condiciones de iluminación se tuvo en cuenta la irradiancia solar global medida a unos 10 Km de distancia. La extrapolación espacial de estos valores se puede admitir como válida en condiciones de cielos despejados (Hay & Hanson, 1985).

La magnitud utilizada en este estudio para caracterizar las propiedades espectrales del árbol y de la hierba es el factor de reflectividad bidireccional, que se define como el cociente entre la radiancia de la superficie en estudio y la radiancia de un blanco de referencia, bajo las mismas condiciones de iluminación y de observación (Milton, 1987). Estas radiancias se midieron utilizando un espectrorradiómetro GER-SIRIS

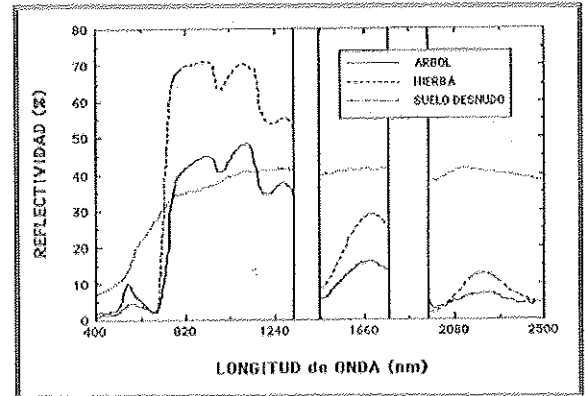


Figura 2.- Espectros obtenidos con el equipo SIRIS correspondientes a la reflectividad de la hierba, de un árbol y de un suelo desnudo.

(Single field-of-view IRIS), que permite obtener un espectro continuo desde 400 a 3000 nm. El blanco de referencia utilizado fue el Spectralon (Labsphere) que posee una reflectividad del 99% en el visible y en el infrarrojo próximo, y de un 96% en el infrarrojo medio.

En cuanto a los montajes experimentales se han utilizado dos distintos (Figura 1), dependiendo de la altura del sistema estudiado, pero siempre permitiendo su observación vertical, ya que así se corresponde, aproximadamente, con la observación que realiza el sensor TM. Así, para la medida de la reflectividad del árbol, se instaló una plataforma fija de unos 6 m de altura, de forma que la distancia entre el sensor y la cima del árbol era de 1,5 m. Las medidas de la radiancia del panel de referencia se realizaban colocando al mismo en una mini-plataforma móvil que se desplazaba oportunamente. Para las medidas de la hierba, el cabezal óptico del radiómetro se colocó en un trípode a 1,5 m de altura del suelo, y el panel de referencia en otro trípode de menor altura, casi a ras de suelo.

El procedimiento experimental seguido se basa en la toma de medidas secuenciales de la radiancia del panel de referencia y de la del sistema en estudio, de forma que, posteriormente, el software del equipo permite obtener un único espectro, correspondiente al factor de reflectividad en todo el intervalo de longitud de onda considerado. Cada pareja de medidas (blanco/sistema) se repite tres veces con objeto de minimizar posibles fluctuaciones en la iluminación que se dan incluso en días despejados (Duggin, 1982; Milton, 1987). El valor final asignado a cada factor de reflectividad es el valor medio de la serie, con un error que viene dado por la dispersión entre las medidas.

Para ilustrar los datos que proporciona el radiómetro, la Figura 2 muestra tres espectros correspondientes a la reflectividad de la hierba, de un árbol y de suelo desnudo. Sin embargo, y dado que nuestro interés se centra solamente en los intervalos espectrales del sensor TM, todos los espectros obtenidos han sufrido un proceso de filtrado para reproducir los valores de reflectividad correspondientes a las ventanas

¹ Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias

² Las marcas comerciales se incluyen para beneficio del lector y no implican ningún tipo de preferencia por la Universidad de Valencia

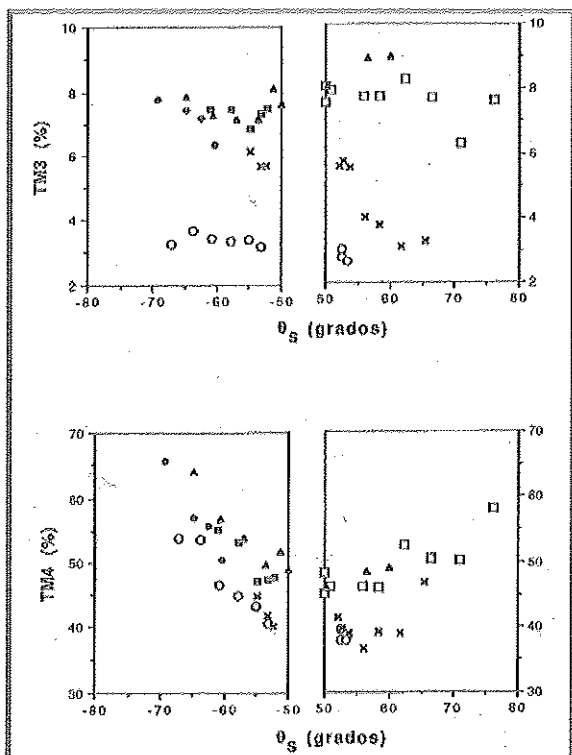


Figura 3.- Factores de reflectividad obtenidos para el árbol en las bandas TM3 y TM4, en función del ángulo cenital solar (los ángulos anteriores al mediodía se consideran negativos). Las medidas realizadas en diferentes días se representan utilizando tramas distintas.

de medida de dicho sensor, teniendo en cuenta para ello la respuesta espectral relativa de cada una de las mismas (Markham & Barker, 1985).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Reflectividad del árbol.

La Figura 3 muestra los valores de reflectividad medidos para el árbol en dos bandas espectrales: la TM3 (rojo) y la TM4 (infrarrojo próximo), que consideramos en este trabajo como representativas del comportamiento espectral que presenta la superficie en estudio en la zona del visible y del infrarrojo, respectivamente (Gilabert, 1990).

Con objeto de poder identificar la dependencia de la reflectividad del árbol con cada uno de los diferentes factores que pueden influir en la misma (la evolución fisiológica de la planta, la altura solar y la transparencia atmosférica), se han representado los valores de reflectividad en función del ángulo cenital solar, considerando los ángulos anteriores al mediodía solar negativos y los de la tarde positivos. Así mismo, las medidas obtenidas en días distintos se han representado utilizando tramas distintas. Los errores asociados a las medi-

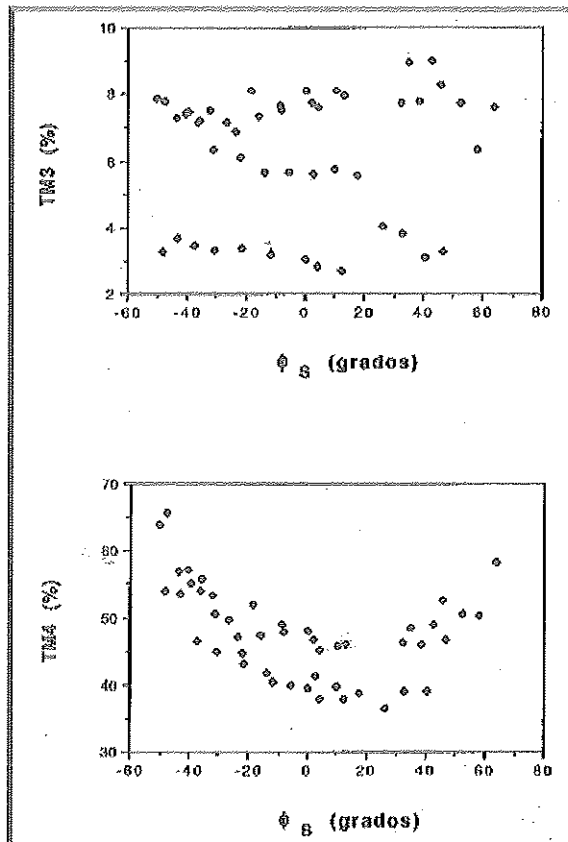


Figura 4.- Factores de reflectividad del árbol, en TM3 y TM4, en función del ángulo acimutal solar.

das no aparecen ya que, en la mayoría de los casos, serían menores que el propio símbolo utilizado en la representación (Tabla 1). Análisis adicionales de estos errores han demostrado que los mismos no exhiben ninguna dependencia particular con el día o con la hora. En general, se observa una mayor dispersión de las medidas en la banda TM7, que podría atribuirse al mayor ruido, inherente a la instrumentación en esta zona espectral.

Tabla 1.- Orden de magnitud de los errores relativos, σ (%), asociados a los valores de reflectividad del árbol en cada banda espectral.

BANDA	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM7
σ (%)	1,5	2,1	2,7	2,2	2,6	4,0

El análisis de las medidas efectuadas (parte de las cuales se muestra en la Figura 3) permite identificar, principalmente, dos características en la reflectividad del árbol:

(I) Existe una marcada evolución diurna de la reflectividad, perceptible preferentemente en las bandas espectrales situadas en el infrarrojo (TM4, TM5 y TM7), con un mínimo ab-

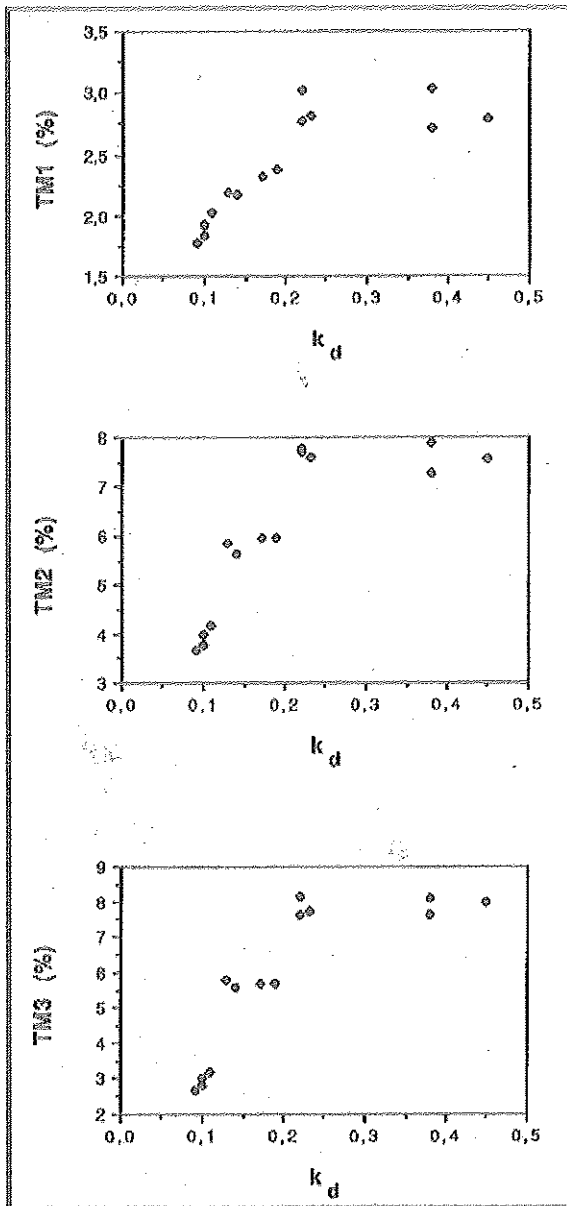


Figura 5.- Correlación entre los valores de reflectividad del árbol en las bandas visibles y la proporción de radiación difusa, K_d . Sólo se han representado los valores comprendidos en un intervalo centrado alrededor del mediodía solar.

soluto alrededor del mediodía solar y cuya situación exacta no se puede identificar en la representación anterior.

(II) En la zona del infrarrojo (cercano y medio), la dispersión entre las nubes de puntos representativas de días distintos no es muy elevada, de forma que se puede decir que todos los días responden a un mismo patrón de comporta-

miento en lo que a evolución diurna se refiere. Sin embargo, en las bandas visibles, los puntos representativos de días distintos presentan comportamientos diferentes, impidiendo establecer una curva de evolución de reflectividad típica en estas zonas espectrales.

Vamos a ver con un poco más de detalle estas dos características.

(I) LOCALIZACIÓN DEL MINIMO

El mínimo de reflectividad mencionado anteriormente se puede determinar mediante la representación de los valores de reflectividad en función del ángulo acimutal solar³ (Figura 4). De la Figura 4 se puede deducir que el mínimo no se encuentra situado exactamente en el mediodía solar ($\phi_S=0^\circ$), lo que confiere a las curvas de cierta asimetría con respecto a este punto. La literatura registra esta asimetría pero para el caso de sistemas vegetales. Algunos autores (Kondratyev et al., 1981) la atribuyen a los cambios fisiológicos que exhibe la planta a lo largo del día, mientras que otros (Pinter, 1986) la explican en base a la presencia de rocío sobre las hojas a primeras horas de la mañana. En nuestro caso, parece ser la consecuencia del efecto conjunto de ambos factores ya que los cambios fisiológicos son inherentes a la propia evolución horaria del árbol y, por otra parte, la presencia de rocío sobre las hojas de la planta es típica de la época en que se realizaron las medidas (mes de febrero).

La representación anterior (Figura 4) permite discutir la situación del mínimo de reflectividad ajustando las distribuciones de puntos a funciones cuadráticas (sólo para las bandas del infrarrojo, ya que en las visibles no se encuentran correlaciones significativas). La primera derivada de las funciones de ajuste ha permitido encontrar la situación del mínimo que, en todos los casos, resulta estar desplazado unos 10° del mediodía solar (para TM4, por ejemplo, se encuentra en $\phi_S=11,3^\circ$).

(II) DISPERSIÓN EN LAS BANDAS VISIBLES

Dado que las características inherentes al árbol no tienen, en principio, por qué ser muy diferentes de unos días a otros (la porción de árbol observada era siempre la misma), lo lógico es pensar en factores externos -tales como la iluminación- para explicar el comportamiento de la reflectividad en las bandas visibles. Si bien, como se ha mencionado anteriormente, todos los días en que se realizaron medidas eran días despejados, la atmósfera no se presentaba con la misma transparencia, con lo cual la proporción de luz difusa incidente en el árbol era variable.

Para analizar la posible relación entre la reflectividad y las condiciones de cielo, se han utilizado dos parámetros que son de uso común en radiación solar como factores de claridad atmosférica:

* La proporción de radiación difusa con respecto a la total

³ A diferencia del ángulo cenital, el acimutal presenta valores continuos y crecientes a medida que transcurre el día; así, es negativo antes del mediodía, nulo en este instante, y positivo por la tarde

incidente en una superficie horizontal, k_d ,

$$k_d = \frac{I_d}{I_T} = \frac{I_d}{I_b + I_d} \quad (1)$$

donde I_T es la irradiancia total, I_b la directa e I_d la difusa.

* El índice de claridad, ϵ , introducido por Pérez et al. (1986) para parametrizar las condiciones de cielo en el desarrollo de modelo de irradiancia difusa (Pérez et al., 1986; 1987),

$$\epsilon = \frac{I_n + I_d}{I_d} \quad (2)$$

donde I_n indica la irradiancia directa en incidencia normal.

Obviamente, los dos parámetros anteriores están relacionados entre sí mediante el ángulo cenital solar, θ_s ,

$$\epsilon = \frac{K_d \cdot 1 - 1}{\cos \theta_s} + 1 \quad (3)$$

extendiéndose el intervalo de variación entre 0 y 1 para k_d y desde 1 a $+\infty$ para ϵ .

La Figura 5 muestra la correlación encontrada entre la reflectividad del árbol en las bandas visibles y la proporción de radiación difusa, k_d . Con el propósito de que las variaciones de la reflectividad debidas a la altura solar interfieran lo menos posible con las variaciones en la reflectividad que son consecuencia de una iluminación con distinta componente difusa, se han representado sólo los valores comprendidos en un intervalo centrado en el mediodía solar, con ángulos cenitales inferiores a 53° (ángulos acimutales entre -15° y $+15^\circ$). En este intervalo, las variaciones de la reflectividad con θ_s sólo suponen un pequeño porcentaje de las que se originan teniendo en cuenta todo el rango de variación de dicho ángulo (20% en TM1; 12% en TM2; 4% en TM3).

La representación de la Figura 5 pone de manifiesto la existencia de una dependencia de la reflectividad del árbol con la proporción de radiación difusa incidente, de modo que, a medida que aumenta la irradiancia difusa aumenta linealmente la reflectividad ($r > 0,9$), hasta llegar a un cierto valor umbral situado alrededor de $k_d = 0,20$ a partir del cual se estabiliza. Esta dependencia es más acusada en las tres bandas visibles (cambios en la reflectividad superiores al 50%), donde se alcanzan las correlaciones más altas. En las bandas del infrarrojo, que no aparecen en la fig., las distribuciones muestran una mayor dispersión y, por tanto, una menor correlación. Además, la variación observada en la reflectividad es menor del 50%.

Por su parte, la Figura 6 muestra los valores de reflectividad medidos, nuevamente en las bandas visibles, en función del índice de claridad, ϵ . Se observan dos zonas claramente diferenciadas, correspondientes a valores de $\epsilon < 20$ y valores de $\epsilon > 20$. En la primera zona, la dispersión entre los puntos es muy elevada, mientras que en la segunda, los valores de reflectividad presentan un comportamiento asintótico. Te-

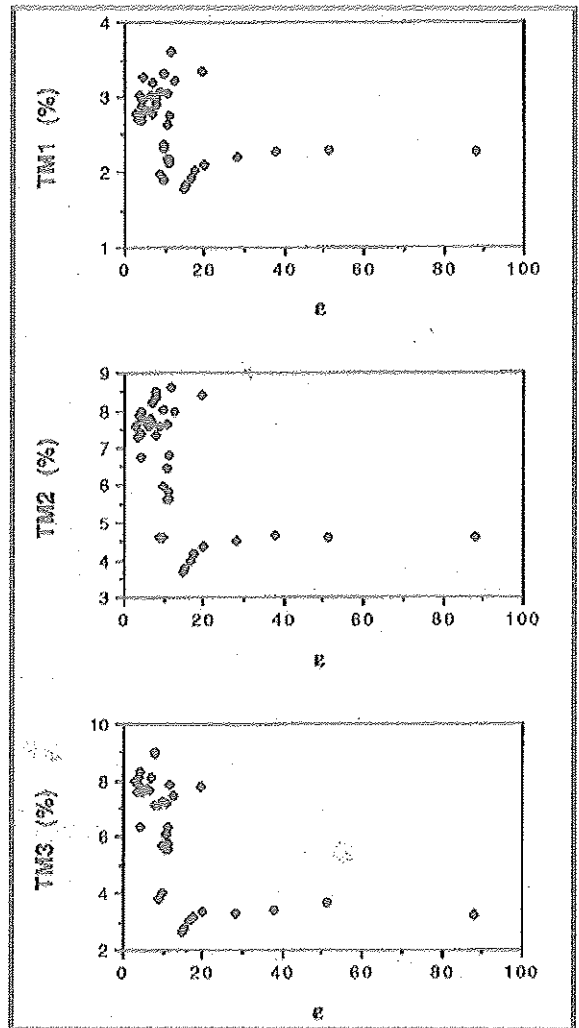


Figura 6.- Todos los valores de reflectividad del árbol en las bandas visibles en función del índice de claridad, ϵ .

niendo en cuenta que un valor de $\epsilon > 20$ indica unas condiciones de cielo extremadamente claras ($k_d < 0,10$), estas gráficas sugieren la existencia de otro valor umbral (en la zona de máxima transparencia atmosférica), a partir del cual la reflectividad permanece constante.

Si se estudia con más detalle el primer intervalo ($\epsilon < 20$), y solamente se representan las medidas efectuadas alrededor del mediodía solar (Figura 7), se vuelve a reproducir el comportamiento encontrado antes utilizando k_d , es decir, se encuentra nuevamente el valor umbral correspondiente a una atmósfera poco transparente, y que, obviamente, se corresponde con el determinado anteriormente utilizando la otra representación ($k_d = 0,20$ ó $\epsilon = 8$).

A la vista de las gráficas anteriores se puede concluir que la ley de variación de la reflectividad en la zona visible del es-

pectro con el índice de claridad exhibe tres zonas perfectamente diferenciadas:

1. Zona de máxima transparencia ($\epsilon > 20$), en la que la reflectividad parece ser insensible a las condiciones de iluminación, permaneciendo, prácticamente, constante.
2. Zona de transparencia intermedia ($8 < \epsilon < 20$), en la que la reflectividad en el visible cambia drásticamente con la proporción de radiación difusa incidente, aumentando a medida que aumenta ésta.
3. Zona de transparencia mínima ($\epsilon < 8$), en la que nuevamente la reflectividad tiende a saturarse, pero a un valor mayor que el de la zona 1.

3.2. Reflectividad de la hierba.

La Figura 8 muestra el resultado de las medidas de los factores de reflectividad de la hierba (*Oxalis* sp) en las bandas TM3 y TM4. Los valores se representan nuevamente en función del ángulo cenital solar y utilizando tramas distintas según el día de medida. Los errores asociados a las medidas en todas las bandas espectrales se resumen en la Tabla 2.

Tabla 2.- Orden de magnitud de los errores relativos, σ (%), asociados a las medidas de reflectividad de la hierba en cada banda espectral del TM.

BANDA	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM7
σ (%)	2,7	2,6	2,9	2,7	3,0	4,1

Aunque con menor número de datos experimentales, se puede observar un comportamiento parecido al del árbol en cuanto a evolución diurna se refiere: la reflectividad disminuye a medida que transcurre la mañana para volver a aumentar después del mediodía.

Para la hierba se ha realizado un estudio similar al desarrollado para el caso del árbol para analizar la influencia de las condiciones de cielo. Sin embargo, no se han encontrado correlaciones significativas con la proporción de radiación difusa. Aunque con la corta secuencia de datos experimentales no se pueden establecer conclusiones definitivas al respecto, es evidente que la radiación difusa procedente del cielo (la que miden los parámetros utilizados anteriormente) no es la única que incide sobre la hierba. Al tratarse de vegetación baja rodeada de árboles habría que analizar los procesos de difusión múltiple que tienen lugar dentro de la plantación, o bien realizar medidas de radiación a nivel de suelo.

Lo más destacable, sin embargo, de las gráficas de la hierba es que su evolución diurna es mucho más acentuada que la experimentada por el árbol. En nuestra opinión, este hecho se debe a que, al efecto de la altura solar, se superponen unos cambios fisiológicos más drásticos: a primeras horas de la mañana hay una capa de rocío depositada en las hojas de la planta, la cual se presenta con todas sus hojas extendidas presentando un máximo de superficie foliar para interceptar la radiación incidente. Pero, a medida que avanza el día, el rocío se va evaporando y, al mismo tiempo, las

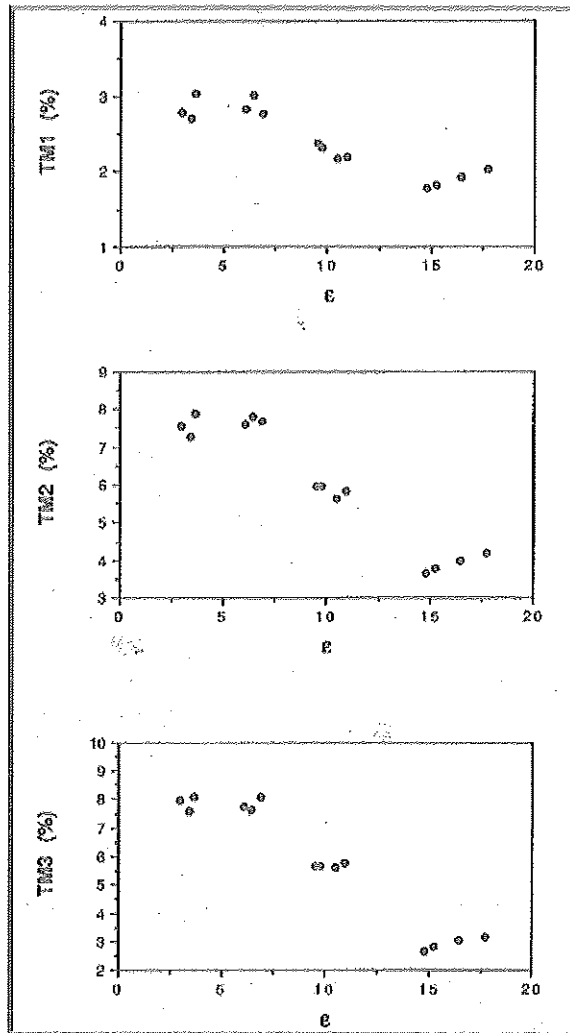


Figura 7.- Valores de reflectividad del árbol en las bandas visibles obtenidos alrededor del mediodía solar en función del índice de claridad. Sólo se representan valores para $\epsilon < 20$.

hojas de la planta se van "plegando", disminuyendo la superficie foliar efectiva.

4. CONCLUSIONES

De esta exposición resulta evidente la influencia de la iluminación (tanto en lo que respecta al ángulo de incidencia como a la proporción de radiación difusa) en las medidas de reflectividad de la vegetación. Por lo tanto, cuando se trate de realizar medidas radiométricas in situ para simular la respuesta espectral obtenida desde el satélite habrá que tener en cuenta ambos factores.

En lo que respecta a la influencia de la radiación difusa, ni

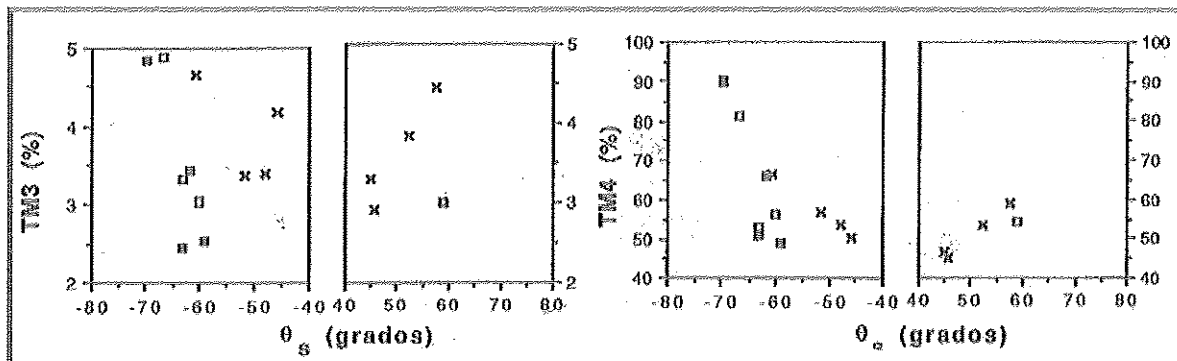


Figura. 8.- Factores de reflectividad obtenidos para la hierba en las bandas TM3 y TM4, en función del ángulo cenital solar (los ángulos anteriores al mediodía se consideran negativos). Las medidas realizadas en diferentes días se representan utilizando tramas distintas.

siquiera la utilización de índices de vegetación tales como el NDVI permite normalizarla por completo (aunque sí atenuarla en parte) dada su dependencia con la longitud de onda. Mediante un procedimiento de simulación (Gilbert, 1990) hemos comprobado que el NDVI de una parcela de naranjos bajo distintas condiciones de transparencia atmosférica puede sufrir variaciones superiores al 10%. Variaciones que, de no tenerse en cuenta la influencia de la iluminación, podrían ser atribuidas a una distinta cantidad de biomasa mientras que, en realidad, solamente son consecuencia de la actuación de un factor externo al sistema.

Por otra parte, en lo que respecta a la rápida evolución observada en la curva de reflectividad de la hierba, hay que decir que presenta un gran inconveniente para fijar su reflectividad a la hora de paso del satélite Landsat. Ciertamente, un cambio en el ángulo cenital solar de 70° a 60° (que reproduciría las condiciones de iluminación de una imagen de

invierno), supone una variación de la reflectividad que puede llegar a ser del 100% por lo que la hora de paso del satélite es bastante crítica para determinar la magnitud en estudio, ya que se encuentra en la zona de máxima pendiente de las curvas de reflectividad.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento al Grupo de Radiación Solar del Departament de Termodinàmica, especialmente a M.P. Utrillas y al Dr. J.A. Martínez-Lozano por la concesión de los datos de irradiancia solar y por la revisión del trabajo. Nuestro reconocimiento también al IVIA, que nos facilitó la parcela de cítricos para realizar las medidas. M.A. Gilbert realizó este trabajo en el marco de una beca (PFPI, 1987) del Ministerio de Educación y Ciencia.

6. BIBLIOGRAFIA

- ✓ COLWELL, J.E. (1974): Vegetation canopy reflectance. *Remote Sensing of Environment*, 3: 175-183.
- ✓ DEERING, D.W. & ECK, T.F. (1987): Atmospheric optical depth effects on angular anisotropy of plant canopy reflectance. *International Journal of Remote Sensing*, 8 (6): 893-916.
- ✓ DUGGIN, M.J. (1982): The need to use two radiometers simultaneously to make reflectance measurements in field conditions. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 48: 142-144.
- ✓ GILABERT, M.A. y MELIA, J. (1990): A simple geometrical model for analysing the spectral response of a citrus canopy using satellite images. *International Journal of Remote Sensing*, 11 (8): 1391-1403.
- ✓ GILABERT, M.A. (1990): *Caracterización radiométrica, en el intervalo espectral solar, de cultivos cítricos. Modelo geométrico de reflectividad de aplicación en teledetección*. Tesis Doctoral, Facultat de Física, Universitat de València.
- ✓ HAY, J.E. & HANSON, K.J. (1985): Evaluating the solar resource: a review of problems resulting from temporal, spatial and angular variations. *Solar Energy*, 34 (2): 151-161.
- ✓ INEICHEN, P.; GUISAN, O. & PEREZ, R. (1990): Ground reflected radiation and albedo, *Solar Energy*, 44 (4): 207-214.
- ✓ INEICHEN, P.; PÉREZ, R. & SEALS, R. (1987): The importance of corrected albedo determination for adequately modeling energy received by tilted surfaces. *Solar Energy*, 39 (4): 301-305.
- ✓ JACKSON, R.D.; TELLET, P.M.; SLATER, P.N.; FEDOSEJEVS, G.; JASINSKY, M.F.; AASE, J.K. & MORAN, M.S. (1990): Bidirectional measurements of surface reflectance for view angle corrections of oblique imagery. *Remote Sensing of Environment*, 32: 189-202.
- ✓ KOCK, B.; AMMER, U.; SCHNEIDER, T. & WITTMER, H. (1990): Spectroradiometer measurements in the laboratory and in the field to analyse the influence of different damage symptoms on the reflection spectra of forest trees, *International Journal of Remote Sensing*, 11 (7): 1145-1163.
- ✓ KONDRATYEV, K.Ya.; KORZOU, V.I.; MUKHENBERG, V.V. & DYACHENKO, L.N. (1981): The shortwave albedo and the surface emissivity. *JSC Study Conference on land surface processes in atmospheric general circulation models* (P.S. Fagelson, Ed.), Greenbelt, MD, World Climate Research Program, 463-514.
- ✓ KRIEBEL, K.T. (1976): On the variability of the reflected radiation field due to differing distributions of the irradiation. *Remote Sensing of Environment*, 4: 257-264.
- ✓ KRIEBEL, K.T. (1978): Measured spectral bidirectional reflection properties of four vegetated surfaces. *Applied Optics*, 17 (2): 253-259.
- ✓ MARKHAM, B.L. & BARKER, J.L. (1985): Spectral characterization of the LANDSAT Thematic Mapper sensors. *International Journal of Remote Sensing*, 6 (5): 697-716.
- ✓ MILTON, E.J. (1987): Principles of field spectroscopy. *International Journal of Remote Sensing*, 8 (12): 1807-1827.
- ✓ PEREZ, R.; STEWART, R.; ARBOGAST, C.; SEALS, R. & SCOTT, J. (1986): An anisotropic hourly diffuse radiation model for sloping surfaces: Description, performance validation, site dependency evaluation. *Solar Energy*, 36 (6): 481-497.
- ✓ PEREZ, R.; SEALS, R.; INEICHEN, P.; STEWART, R. & MENICUCCI, D. (1987): A new simplified version of the Perez diffuse irradiance model for tilted surfaces. *Solar Energy*, 44 (4): 207-214.
- ✓ PINTER Jr, P.J. (1986): Effect of dew on canopy reflectance and temperature. *Remote Sensing of Environment*, 19: 187-205.
- ✓ RANSON, K.J.; DAUGHTRY, C.S.T.; BIEHL, L.L. & BAUER, M.E. (1985): Sun-view angle effects on reflectance factors of corn canopies. *Remote Sensing of Environment*, 18: 147-161.
- ✓ ROBINSON, B.F. & BIEHL, L.L. (1979): Calibration procedures for measurement of reflectance factor in remote sensing field research. *Journal of the Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers*, 196: 16-26.
- ✓ SMITH, J.A. (1983): Matter-energy interactions in the optical region. En *Manual of Remote Sensing* 2nd edition (R.N. Colwell, ed.), American Society of Photogrammetry, Falls Church, Virginia, pp. 96-98.