

## **Análisis multitemporal de los valores de reflectividad en cultivos cítricos mediante el sensor TM**

A. Gilabert, S. Gandía, D. Segarra y J. Meliá

Dep. de Termología. Fac. de Ciencias Físicas. U. de València.  
Dr. Moliner s/n, Burjassot (Valencia)

### 1. INTRODUCCION.

El desarrollo de la Teledetección y de su aplicación a la medida de magnitudes de interés agronómico se fundamenta en una correcta descripción de la interacción de la radiación solar con la vegetación.

Dicha descripción se puede llevar a cabo mediante el análisis, bien de la reflectividad, bien de la absortividad o bien de la transmisividad de la cobertura vegetal en estudio, por ser las tres magnitudes anteriores características de un cultivo en una etapa dada de su evolución. Dada la relación que existe entre ellas:

$$\rho_{\lambda} + \tau_{\lambda} + \alpha_{\lambda} = 1 \quad (1)$$

donde  $\rho_{\lambda}$ ,  $\tau_{\lambda}$  y  $\alpha_{\lambda}$  son los respectivos valores de la reflectividad, transmisividad y absortividad, respectivamente, para una longitud de onda,  $\lambda$ , determinada;

y dado que las curvas de reflectividad y transmisividad espectrales de una hoja son prácticamente idénticas (Horler and Barber, 1981), tal como se pone de manifiesto en la figura 1, escogeremos la REFLECTIVIDAD como magnitud fundamental en Teledetección, por estar directamente relacionada con las medidas de radiancias obtenidas desde satélite.

La reflectividad de las hojas simples es insuficiente para valorar la reflectividad de toda la cobertura vegetal. Esta última, que es el sistema objeto de nuestro estudio, es una mezcla de diferentes componentes, incluyendo hojas, otras estructuras vegetales, suelo, sombras, etc. Además, los distintos componentes del sistema están orientados en ángulos diferentes con respecto a la fuente de radiación incidente (el Sol). De todo esto se deduce (Colwell, 1974) que existen diversos factores que afectarán al valor de la reflectividad de forma que no sea extrapolable a

partir de la de una sola hoja.

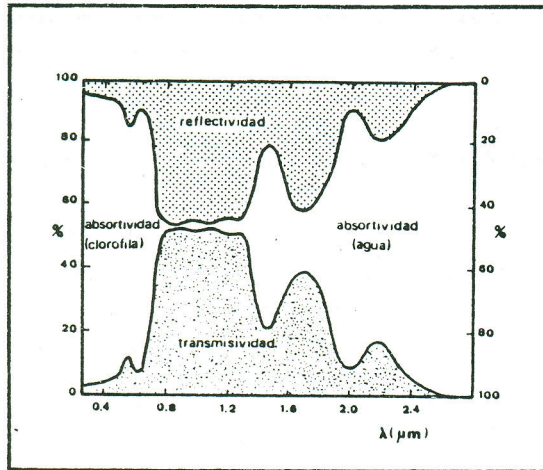


Figura 1: Curvas de reflectividad, absorptividad y transmisividad espectrales de una hoja (Horler and Barber, 1981).

De entre la literatura que se ocupa del tema cabe resaltar el trabajo de Colwell (Colwell, 1974), que hace una revisión, tanto cualitativa como cuantitativa, de los distintos parámetros que influyen en la reflectividad de un cultivo, entre los que cabe resaltar:

- a) Propiedades ópticas de los componentes de la cobertura
- b) Reflectividad del suelo
- c) Propiedades geométricas de la cobertura
- d) Efectos angulares.

Resumiendo, podemos decir que para unas condiciones dadas de la radiación incidente y de la observación, la reflectividad de un cultivo se determina por la distribución espacial y angular de los componentes de la cobertura, y por las propiedades ópticas de estos componentes y del suelo. El carácter no lambertiano de la reflectividad también está fuertemente influenciado por la geometría de la cobertura (Verhoef and Bunnik, 1981).

Como los factores anteriores evolucionan con el tiempo se puede concluir que la reflectividad de un cultivo dependerá, además del tipo y variedad de la planta, del estado fenológico de la misma. Así, el estudio de esta magnitud será apropiado tanto para realizar un seguimiento temporal de los cultivos, como para discernir unos de otros y efectuar clasificaciones del suelo en distintos tipos de uso.

Hay, además de dichos factores, una diferencia entre el método de obtener medidas de reflectividad en el campo y en el laboratorio. En el laboratorio se trabaja con hojas simples y se mide la REFLECTIVIDAD HEMISFERICA de la hoja (Slater, 1980), que se puede expresar como indica la ecuación 2:

$$\rho_{\lambda} = \pi L_{\lambda} / E_{\lambda} \quad (2)$$

donde  $E_{\lambda}$  es la irradiancia ( $\text{Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$ ) y  $L_{\lambda}$  es la radiancia ( $\text{Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$ ).

En el campo, sin embargo, se mide la REFLECTIVIDAD BIDIRECCIONAL de la cobertura vegetal (Slater, 1980), la cuál recibe su nombre a causa de su doble dependencia de los ángulos de incidencia y de observación, como se indica en la figura 2. La medida de esta magnitud se efectúa utilizando espectrorradiómetros situados a pocos metros de altura sobre el suelo.

P.H. Swain, S.M. Davis (Swain, 1978) y Slater (Slater, 1980) hacen un desarrollo de las distintas magnitudes de medida de la reflectividad de un cultivo más usadas en Teledetección.

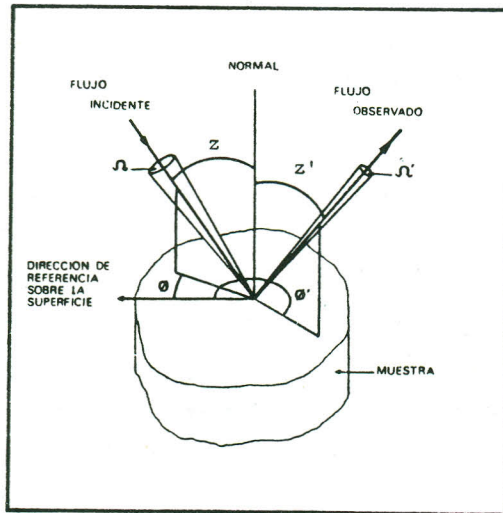


Figura 2: Parámetros geométricos que intervienen en la reflexión de la radiación:  $z$ , ángulo cenital;  $\phi$ , ángulo acimutal;  $\Omega$ , ángulo sólido. Los ángulos con primas son los de observación (Horler and Barber, 1981).

Los sensores ubicados en plataformas espaciales - como el Thematic Mapper, TM, a bordo del Landsat 5, que ha proporcionado las medidas utilizadas en este trabajo - nos dan unos valores de radiancia,  $L_{\lambda}$ , trans

formables en los respectivos valores de reflectividad,  $\rho_\lambda$ .

El valor de la radiancia espectral,  $L_\lambda$ , se calcula a partir de los valores que, expresados en forma de Cuentas Digitales (0-255), CD,  $m_i$  de el sensor del satélite en cada elemento de representación (pixel) de la escena y del calibrado propio de cada banda espectral, en la forma dada en la ecuación 3:

$$L_\lambda = a_0 + a_1 \cdot CD \quad (3)$$

donde  $a_0$  y  $a_1$  son constantes de calibrado del sensor TM, cuyos valores para las diferentes bandas espectrales de medida se dan en la tabla 1.

LANDSAT TM	$\lambda(\mu m)$	$E_{O\lambda}(Wm^{-2})$	CTES.CALIBRADO ( $Wm^{-2}sr^{-1}$ )
B1	0.45-0.52	138.25	$a_0 = -0.06662095$ $a_1 = 0.04197408$
B2	0.52-0.60	139.04	$a_0 = -0.1573225$ $a_1 = 0.1034512$
B3	0.63-0.69	89.1	$a_0 = -0.1126937$ $a_1 = 0.06499743$
B4	0.76-0.90	147.7	$a_0 = -0.2328563$ $a_1 = 0.1170516$
B5	1.55-1.75	44.6	$a_0 = -0.08640033$ $a_1 = 0.02726504$
B7	2.08-2.35	21.33	$a_0 = -0.05113922$ $a_1 = 0.01692211$

Tabla 1: Valores de la irradiancia extraterrestre y de las constantes de calibrado del TM para cada banda espectral de este sensor. (ESA-EARTHNET, 1984).

Puede suponerse un comportamiento lambertiano de la superficie y escribir su reflectividad,  $\rho_\lambda$ , como indica la ecuación(4) (Slater,1980):

$$\rho_\lambda = K\pi L_{S\lambda} / (E_{S\lambda} \cos z) \quad (4)$$

donde:

- \*  $\rho_\lambda$  es la reflectividad de cada elemento de superficie
- \*  $L_{S\lambda}$  es la radiancia correspondiente a una banda espectral
- \*  $E_{S\lambda}$  es la irradiancia en el elemento de superficie, que depende, también, de la banda espectral
- \*  $K$  es un factor corrector de la distancia Tierra-Sol, que depende de la fecha

\*  $\cos z$  es el ángulo cenital solar que, además de depender de la fecha, depende de la latitud del lugar, del ángulo horario y de la declinación solar.

En una primera aproximación pueden despreciarse los efectos absorbentes y dispersores de la atmósfera (Slater, 1980; Rollin et al., 1985) y sustituir los valores de  $L_{s\lambda}$  y de  $E_{s\lambda}$  por los que determina el satélite,  $L_\lambda$ , y por la irradiancia extraterrestre,  $E_{0\lambda}$ , resultando que la reflectividad,  $\rho_\lambda$  se obtiene como:

$$\rho_\lambda = K\pi L_\lambda / (E_{0\lambda} \cos z) \quad (5)$$

El conjunto de los valores de reflectividad espectral,  $\{\rho_\lambda\}$ , obtenidos de cada elemento de representación constituyen una medida de su SIGNATURA ESPECTRAL (Slater, 1980). El concepto de signatura espectral ha sido utilizado con gran profusión en la bibliografía científica, ya que es significativa del estado y evolución temporal de los diferentes "caracteres" o tipos de usos de suelo que pueden conformar una imagen.

A partir de los valores de reflectividad se pueden construir combinaciones entre ellos, de ordinario sencillas, que se conocen como INDICES DE VEGETACION, IV (Myers, 1983). El uso de los índices de vegetación tiene una doble ventaja: facilita resaltar algún carácter en la imagen y proporciona unos valores corregidos, en parte, de los factores arriba mencionados y que alteran el valor de la signatura espectral.

El objeto de este trabajo es el de hacer un estudio multitemporal de los valores de reflectividad de los cultivos cítricos, con vistas a posteriores aplicaciones en la detección de anomalías, como carencias, efectos del frío, etc.

## 2. METODO EXPERIMENTAL.

Hemos tomado para nuestro estudio una zona de referencia de unos  $7 \times 7 \text{ km}^2$ , en la que se han considerado unas PARCELAS PATRON (con cítricos de edad y variedad distinta) que son las escogidas como representativas del cultivo que se pretende estudiar. Dicha zona está situada al Sur de la ciudad de Castellón, en la comarca de la Plana Baixa, donde alternan como usos de suelo principales los cítricos, el secano y el terreno baldío o urbanizado.

En la figura 3 damos una reproducción de un mapa de la zona a

escala 1:50.000, con la ubicación de las parcelas patrón estudiadas: ocho de cítricos, a las que hacíamos antes referencia, y dos de secano.

La selección de las parcelas patrón se ha efectuado con la ayuda de mapas topográficos (1:50.000), de fotografías aéreas y con el asesoramiento de los servicios locales de Extensión Agraria.

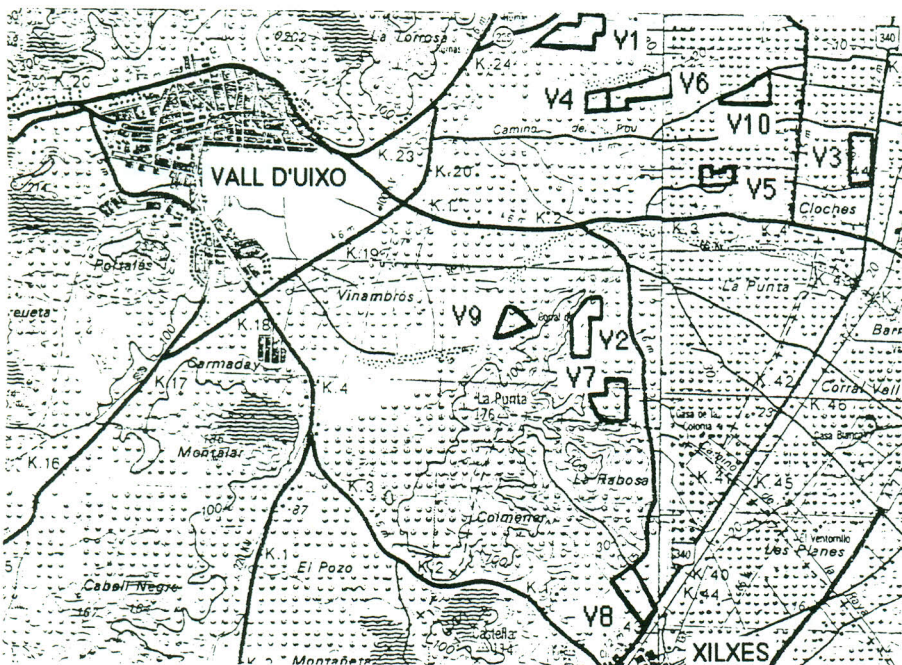


Figura 3: Zona de estudio con la ubicación de las parcelas patrón. Las parcelas de cítricos son las: V1,V2,V3,V6,V7,V8,V9 y V10; y las de secano la V4 y la V5.

(Escala 1:50.000)

Cada parcela patrón está constituida por varios campos de características similares, ya que debido a la gran parcelación del terreno no ha sido posible encontrar un único campo con las dimensiones requeridas para un estudio de esta naturaleza, fijadas por Hay (Hay, 1979) en 50 ó 60 pixels, aproximadamente. En la tabla 2 aparecen las distintas parcelas patrón estudiadas con sus características más relevantes.

Con objeto de determinar la evolución temporal de la signatura espectral de los cítricos, se ha medido la respuesta espectral de las citadas parcelas patrón en siete imágenes correspondientes a siete fechas distintas. Estas últimas se han seleccionado de forma que cubrieran dis-

CODIGO PARCELA	VARIEDAD	GRADO DE COBERTURA	Nº PIXELS
V1	Clementina (90%), Satsuma y Navel	3	100
V2	Clementina, Satsu ma y Navel	3	60
V3	Clementina, Satsu ma y Navel	2	80
V4	Secano	0	30
V5	Secano	0	25
V6	Clementina y Navel	3	100
V7	Clementina y Navel	2	65
V8	Satsuma	5	75
V9	Clementina y Satsu ma	4	50
V10	Clementina	1	50

Tabla 2: Características más relevantes de las parcelas patrón estudiadas. En el apartado "grado de cobertura" el número de 0 a 5 indica el grado de cobertura según una escala creciente.

tintas épocas del año, si bien con una mayor incidencia en los meses que pueden ser de interés para los estudios de los efectos de bajas temperaturas. En la tabla 3 aparece una relación de las mismas.

Estas imágenes del sensor TM han sido tratadas con el equipo de tratamiento digital de imágenes "Pericolor 1000"(Casa Numelec).

AÑO	MES Y DIA
83	30 Enero
84	7 Abril
	1 Junio
	10 Diciembre
85	11 Enero
	16 Marzo
	20 Noviembre

Tabla 3: Relación de las imágenes del TM utilizadas en el estudio.

### 3. RESULTADOS.

A cada una de las parcelas patrón estudiadas le asignamos una reflectividad espectral igual al valor medio de la de todos los pixels que contiene (se han eliminado, previamente, los pixels de contorno) y un error igual a la desviación típica.

Estos valores, inicialmente expresados en cuentas digitales, CD, los hemos convertido en medidas de reflectividad haciendo uso de la expresión (5). Las tablas 4 y 5 contienen los resultados de estas medidas y cálculos. La primera cifra es el valor medio de la reflectividad, expresada en tanto por cien (%) y la segunda, la desviación típica correspondiente.

Con objeto de facilitar su discusión hemos agrupado las fechas en dos periodos que hemos llamado de "invierno" y de "primavera" que, desde el punto de vista de la evolución estacional del cultivo cítrico, presentan características diferentes. No se incluyen las medidas de las bandas espectrales 2 y 7 ya que, básicamente, son redundantes con las 1 y 5, respectivamente. Se han agrupado las parcelas de acuerdo con sus características.

A la vista de los valores de reflectividad dados en las tablas anteriores se concluye que no es posible determinar una signatura espectral estacional para los cítricos. En todas las bandas, las variaciones de la reflectividad medidas en fechas distintas correspondientes a una misma época, se solapan con las obtenidas en épocas distintas. Este efecto es más acusado en las bandas espectrales visibles, B1 y B3, que en las bandas espectrales infrarrojas, B4 y B5.

En la figura 4 se representa la evolución anual (ordenando las imágenes por día y mes) de la reflectividad, en las seis bandas espectrales, para tres parcelas de cubierta vegetal semejante. Se incluye la fecha del 16 de Marzo de 1985, no considerada en la tabla 4, sólo a efectos comparativos, ya que es inmediata a una intensa helada que tuvo lugar en Enero de 1985.

El menor grado de cobertura vegetal de la parcela V7 queda claramente puesto de manifiesto en la figura 5. Mientras que las parcelas V6 y V8 no dan diferencias significativas, la V7 da valores más altos en las bandas espectrales B3 y B5 e inferiores en la B4, de conformidad con sus características de mayor proporción de suelo desnudo y más seco. La banda



PARCELA FECHA	V2	V6	V8	V9	V1	V3	V7	V10	V4	V5
30-I-83	11,7±0,3	11,5±0,3	12,0±0,3	11,7±0,4	11,7±0,3	11,6±0,3	12,4±0,3	12,1±0,4	12,4±0,3	12,0±0,4
10-XII-84	11,2±0,4	11,1±0,4	11,5±0,4	11,0±0,3	11,1±0,4	11,5±0,3	11,9±0,4	12,1±0,5	11,9±0,4	11,8±0,3
11-I-85	10,3±0,3	10,3±0,3	10,4±0,3	10,3±0,3	10,3±0,4	10,6±0,4	10,8±0,4	11,1±0,4	11,0±0,4	10,9±0,4
20-XI-85	11,4±0,5	11,8±0,6	11,7±0,9	11,6±0,4	11,8±0,4	11,8±0,5	11,7±0,5	12,2±0,6	12,9±0,7	11,7±0,3

**TM-B1**

PARCELA FECHA	V2	V6	V8	V9	V1	V3	V7	V10	V4	V5
30-I-83	10,4±0,7	9,9±0,5	10,9±0,4	10,4±0,4	10,6±0,5	10,2±0,4	12,8±0,6	11,9±0,9	12,9±0,5	11,8±0,7
10-XII-84	7,5±0,7	6,9±0,8	8,1±0,8	7,1±0,5	7,4±0,6	7,6±0,8	10,1±0,9	10,7±1,8	9,9±0,6	9,5±0,9
11-I-85	6,8±0,7	7,2±0,6	7,1±0,5	7,0±0,5	7,7±0,7	8,0±0,7	8,9±0,7	10,5±1,3	10,0±0,7	9,3±0,7
20-XI-85	7,9±0,7	8,5±1,2	8,0±0,7	8,7±0,8	9,0±0,8	10,0±1,6	10,7±1,0	11,6±1,6	12,2±1,3	10,4±0,8

**TM-B3**

PARCELA FECHA	V2	V6	V8	V9	V1	V3	V7	V10	V4	V5
30-I-83	22,3±0,6	22,6±1,0	22,6±0,8	22,6±0,8	23,3±1,0	23,9±1,6	22,8±1,6	28,7±2,1	17,9±0,9	18,6±0,5
10-XII-84	25,4±1,2	26,7±3,2	24,8±1,1	23,3±1,2	24,1±2,5	26,0±2,5	21,5±1,0	26,0±3,8	14,9±1,1	16,8±1,1
11-I-85	23,4±1,4	23,3±0,8	22,8±1,1	21,1±0,8	20,9±1,4	22,9±1,8	19,2±0,8	21,1±1,8	14,2±0,8	16,2±1,1
20-XI-85	25,9±1,1	25,8±1,8	24,7±1,9	25,1±1,2	23,3±1,3	22,6±2,4	22,6±0,9	22,5±1,4	20,2±1,4	20,2±1,0

**TM-B4**

PARCELA FECHA	V2	V6	V8	V9	V1	V3	V7	V10	V4	V5
30-I-83	11,9±1,6	11,2±0,8	12,0±1,0	10,9±0,7	11,9±0,8	10,8±0,8	14,5±0,9	14,7±1,6	17,9±1,2	15,5±1,6
10-XII-84	9,2±1,5	8,5±1,2	10,2±1,5	8,0±0,8	9,4±1,1	9,2±1,5	12,7±2,0	16,1±2,4	15,6±1,5	14,1±2,0
11-I-85	9,4±0,8	9,7±1,4	10,9±0,9	9,4±1,0	10,2±0,9	10,0±1,1	12,5±1,4	13,4±1,9	17,1±1,9	14,8±1,4
20-II-85	10,1±1,0	11,8±1,8	11,8±1,4	11,4±1,4	12,8±1,4	15,1±2,3	15,5±2,3	16,0±2,3	20,6±2,3	17,4±1,8

**TM-B5**

Tabla 4: Valores de la reflectividad (%) y error asociado de las parcelas patrón de cítricos (V1,V2,V3,V6,V7,V8, V9 y V10) y de secano (V4 y V5), correspondientes a las imágenes comprendidas en el periodo denominado "INVIERNO"

**TM-B1**

FECHA	PARCELA	V2	V6	V8	V9	V1	V3	V7	V10	V4	V5
7-IV-84		10,2±0,3	10,4±0,2	9,9±0,3	10,1±0,3	10,8±0,2	10,6±0,4	11,5±0,4	11,9±0,3	11,8±0,3	11,0±0,3
1-VI-84		8,8±0,3	9,3±0,4	9,1±0,3	9,0±0,3	9,1±0,3	9,8±0,4	10,4±0,4	10,3±0,4	9,7±0,3	9,6±0,2

**TM-B3**

FECHA	PARCELA	V2	V6	V8	V9	V1	V3	V7	V10	V4	V5
7-IV-84		9,1±0,9	8,6±0,6	8,5±0,9	8,4±0,7	10,1±0,9	10,1±1,2	14,1±1,2	16,0±1,6	12,8±0,8	11,4±0,6
1-VI-84		8,7±1,1	9,8±1,3	9,0±0,8	8,7±0,8	10,1±1,3	11,4±1,6	13,6±1,6	14,9±1,6	11,1±0,8	10,6±0,6

**TM-B4**

FECHA	PARCELA	V2	V6	V8	V9	V1	V3	V7	V10	V4	V5
7-IV-84		26,5±2,0	29,2±2,7	27,5±1,0	28,2±1,4	25,1±2,0	25,8±2,7	27,2±2,7	21,7±0,6	20,0±1,7	22,7±1,4
1-VI-84		27,0±2,1	23,4±1,2	30,8±1,2	25,2±1,2	25,5±1,8	25,2±1,8	25,5±1,2	20,4±0,7	20,2±1,8	23,2±1,8

**TM-B5**

FECHA	PARCELA	V2	V6	V8	V9	V1	V3	V7	V10	V4	V5
7-IV-84		14,4±1,3	15,7±1,0	15,4±1,4	14,9±1,3	16,2±1,3	16,2±1,8	24,0±2,6	23,0±1,6	22,7±1,6	20,6±1,8
1-VI-84		15,1±1,8	15,8±1,8	15,8±1,6	16,7±2,5	16,2±1,4	18,3±2,0	23,5±2,5	21,4±2,0	19,6±1,1	18,7±0,9

Tabla 5: Valores de la reflectividad (%) y error asociado de las parcelas patrón de cítricos (V1, V2, V3, V6, V7, V8, V9 y V10) y de secano (V4 y V5), correspondientes a las imágenes comprendidas en el periodo denominado "PRIMAVERA".

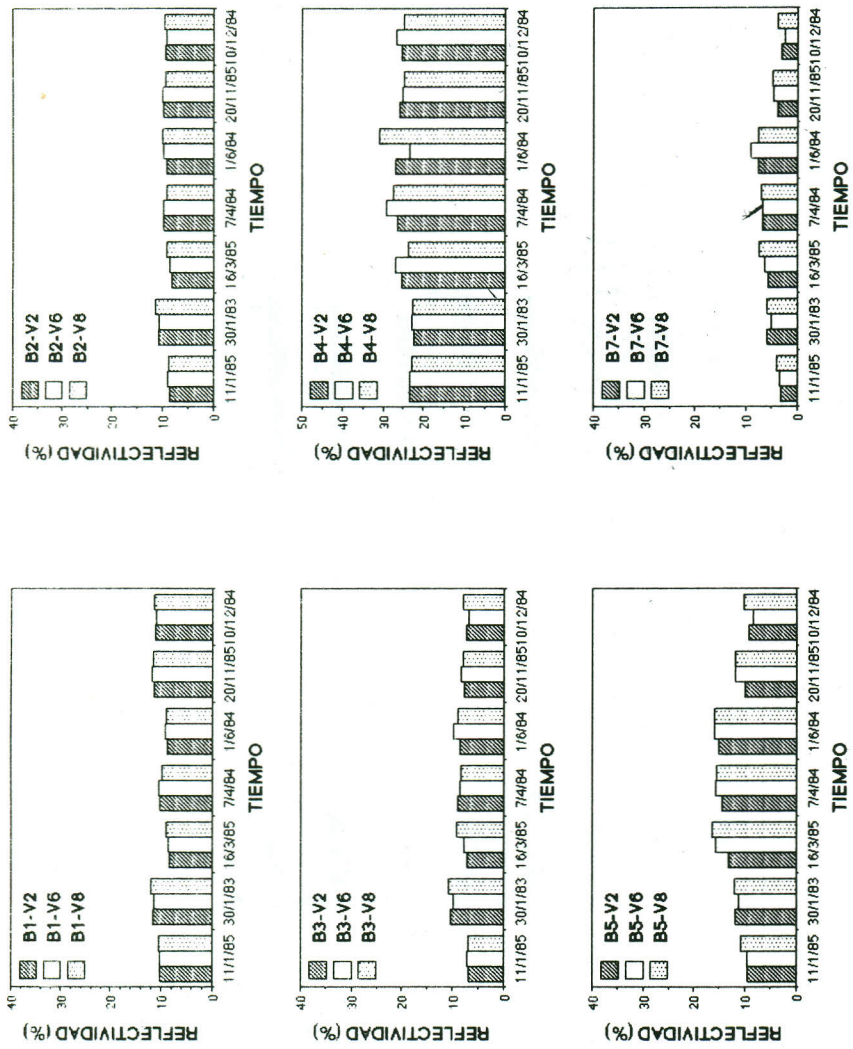


Figura 4: Reflectividades de las parcelas patrón de cítricos V2, V6 y V8 en función del tiempo fenológico (es decir, ordenando las fechas por día y mes), en cada una de las bandas espectrales estudiadas.

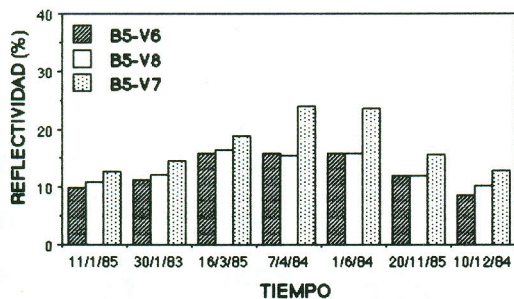
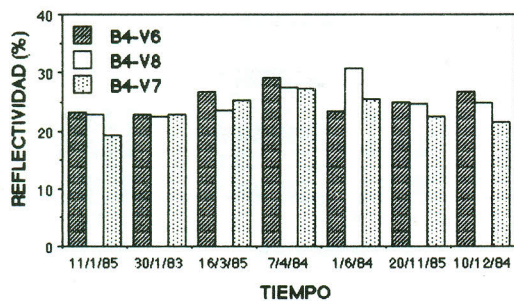
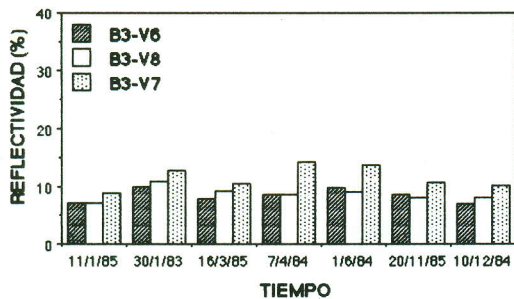


Figura 5: Reflectividad de las parcelas patrón de cítricos V6, V7 y V8 (la V7 con menor grado de cobertura) en función del tiempo fenológico, en las bandas espectrales B3 (visible), B4 y B5 (infrarrojo próximo).

espectral B5 muestra una evolución estacional más clara que cualquier otra banda y es, igualmente, más sensible al grado de cobertura.

La banda espectral B1, al igual que la B2, presentan imágenes menos contrastadas que las de las restantes bandas espectrales y, así mismo, con variaciones estacionales poco apreciables. Las distintas clases de uso rural de suelo se confunden, pero pueden separarse de las de uso urbano.

La mayor parte de la información para el estudio de los cultivos cítricos está contenida en las bandas espectrales B3 (visible), B4 y B5 (infrarrojo próximo), que muestran una mayor sensibilidad a la variación estacional del cultivo y al grado de cobertura vegetal.

#### 4. BIBLIOGRAFIA.

COLWELL, J.E. (1974)

"Vegetation canopy reflectance"

Remote Sensing of Environment, Vol.3, pp.175-183

ESA-EARTHNET (1984)

"Landsat Thematic Mapper (TM). CCT format standards"

HAY, S. (1979)

"Sampling design to test land use mapping accuracy"

Photogramm. Eng. Remote Sensing, Vol.45, pp.529

HORLER, D.N.H. and J.BARBER (1981)

"Principles of Remote Sensing of plants"

en Plants and the daylight spectrum, Academic Press.

MYERS, V.I. (1983)

"Remote Sensing applications in Agriculture"

en Manual of Remote Sensing, capítulo 33

American Society of Photogrammetry, Falls Church.

ROLLIN, E.M. , M.D.STEVEN and P.M.MATHER (1985)

(editores)

"Atmospheric corrections for Remote Sensing"

Proceedings of a Remote Sensing Workshop on Atmospheric Corrections

University of Nottingham

SLATER, P.N. (1980)

"Remote Sensing, Optics and Optical Systems"

Addison-Wesley.

SWAIN, P.H. and S.M.DAVIS (1978)

(editores)

"Remote Sensing. The quantitative approach"

Mc Graw-Hill

VERHOEF, W. and N.J.J.BUNNIK (1981)

"Influence of crop geometry on multispectral reflectance determined by the use of canopy reflectance models"

Signatures spectrales d'objets en Télédétection, Avignon.

##### 5. AGRADECIMIENTOS.

Este trabajo ha sido realizado dentro del proyecto piloto de EARHTNET-NPOC ESPAÑOL (1985) y subvencionado en parte por la CAYCIT (proyecto nº A-172/85).

Agradecemos también el apoyo y subvención prestados por la Consellería d'Agricultura i Pesca de la Generalitat Valenciana.