

CARACTERIZACIÓN ESPECTRAL DE SIETE FORMACIONES VEGETALES MEDITERRÁNEAS A LO LARGO DEL AÑO

X. PONS Y J.M. ROURE.

Unit. de Botànica. Dep. de Biol. Animal, B. Vegetal i Ecologia. Fac. de Ciències. U.A.B.. Bellaterra

RESUMEN

A partir de un método de corrección radiométrica (atmosférica y de iluminación mediante un Modelo Digital de Terreno) y de datos Landsat-TM y SPOT-XS, se han obtenido las respuestas espectrales de 7 formaciones vegetales mediterráneas sobre áreas de entrenamiento (260 ha) localizadas en Collserola (Barcelona). Los datos obtenidos permiten deducir la época óptima para discriminar cada formación, a la vez que aportan información cuantitativa sobre la evolución fenológica y la respuesta espectral a lo largo del año. Agosto y julio aparecen como las épocas que ofrecen una mayor discriminación global.

ABSTRACT

From a simplified radiometric correction method that takes into account atmospheric and illumination effects (through a Digital Elevation Model) and Landsat-TM and SPOT-XS data, we have obtained spectral responses of 7 mediterranean vegetation canopies from training areas (260 ha) in Collserola (Barcelona). Results allow us to know the optimum date to discriminate each canopy and aport quantitative information about phenological dynamics and spectral response along the year. August and July appear as times that offer the most important global separability.

1. INTRODUCCIÓN

Entre los estudios que abordan el conocimiento o caracterización de la vegetación mediante sensores se puede constatar una cierta dualidad en la metodología y el modo de abordar los problemas. Así, de un lado, las aplicaciones cartográficas suelen basarse en el trabajo directo sobre los valores digitales (DN o DC) que suministran las CCT. Por otro lado, los estudios físicos detallados, en que se evalúan las magnitudes físicas reales asociadas a los objetos (radiancia, reflectancia, etc), suelen ser llevados a cabo en laboratorios o bien, cuando se basan en sensores remotos, se centran en áreas geográficas pequeñas para resolver problemas puntuales.

Es obvio que, idealmente, lo óptimo sería transformar siempre los DN a magnitudes físicas conocidas y libres de efectos locales o accesorios, ajenos a la naturaleza de los objetos que pretendemos detectar. El disponer de parámetros próximos a la realidad espectral de los objetos no sólo afecta a los procesos de clasificación, sino también a la comprensión de la dinámica de los procesos fisiológicos de la vegetación.

Sin embargo, la dificultad de corregir adecuadamente los datos obtenidos por el sensor teniendo en cuenta los efectos atmosféricos, topográficos, texturales, etc. (Barioy et al., 1986; Foster, 1984; Proy et al., 1989) hace que no sea frecuente este tipo de correcciones. El precio que hay que pagar por ello es elevado, ya que el trabajo con DN acarrea un aumento de la variación intraclases (mayor confusión espectral) al tiempo que hace que cada nueva clasificación parta de cero por no servir la experiencia de las firmas de an-

teriores clasificaciones.

En el caso de los estudios de vegetación silvestre, a las dificultades de corrección y modelización de la radiometría de cualquier uso del suelo, deberíamos añadir, cuando menos, las siguientes:

- Por razones de historia de los usos y aprovechamientos del suelo, la vegetación natural, especialmente la forestal, ha quedado mayoritariamente relegada a zonas más o menos abruptas. Este hecho implica que los efectos de iluminación diferencial debidos al relieve (pendiente y exposición) se den especialmente en zonas de vegetación natural. Al ser la radiación incidente en un punto proporcional al coseno del ángulo de incidencia, no es extraño que una misma cubierta vegetal reciba (y en consecuencia refleje) cantidades muy diferentes de radiación según su posición en el terreno.
- En muchas cubiertas vegetales la respuesta espectral de la vegetación es cambiante a lo largo del año debido a las variaciones fenológicas. Estos cambios podrían ser incluso una fuente de información que ayudara a discriminar, pero, al contrario, a menudo pueden aportar confusión ya que si bien se tiene una idea cualitativa de estas variaciones, no se sabe con precisión ni el momento de los cambios ni su valor cuantitativo.
- A los cambios fenológicos estacionales habría que añadir los producidos por cambios climáticos puntuales en fechas cercanas a la adquisición de las imágenes.
- No es raro que las formaciones naturales presenten un alto grado de mixtificación, cuando no de especies, si

Tabla 1.- Características espectrales de las 7 formaciones vegetales estudiadas en las 5 imágenes. En cada caso se muestra el valor medio y la desviación estándar.

Ref M B D I A									
CANAL	TM1	XS1	TM2	XS2	TM3	TM4	XS3	TM5	TM7
Centro (µm)	0,49	0,55	0,56	0,65	0,66	0,83	0,84	1,65	2,22
PRADOS									
MARZO	8,92		9,26		9,71	25,39		23,23	14,55
MAYO	5,89		7,34		7,04	28,73		19,10	11,29
JULIO	6,95		8,83		9,63	25,98		22,15	13,93
AGOSTO	8,06		10,01		10,42	24,14		20,35	13,22
NOVIEMBRE		8,05		5,38			23,05		
ARBUSTIVO BAJO									
MARZO	7,54		7,96		7,83	27,55		18,19	10,63
MAYO	5,87		6,77		5,85	30,68		16,48	8,78
JULIO	5,06		6,91		6,78	25,83		18,57	10,51
AGOSTO	6,45		8,82		7,86	26,97		17,03	10,10
NOVIEMBRE		6,86		5,63			20,15		
ARBUSTIVO ALTO									
MARZO	5,67		6,06		5,70	28,06		16,64	9,13
MAYO	3,28		5,18		4,27	33,24		15,18	7,45
JULIO	3,87		6,32		5,71	29,12		17,13	8,74
AGOSTO	5,03		7,51		6,10	29,10		15,52	8,18
NOVIEMBRE		7,45		5,62			22,57		
PINARES									
MARZO	3,62		5,09		4,11	21,19		12,36	6,15
MAYO	3,49		4,46		3,38	25,97		12,65	6,13
JULIO	2,32		4,29		3,35	24,96		13,13	5,99
AGOSTO	3,70		5,76		4,34	23,49		12,03	6,30
NOVIEMBRE		5,87		3,47			17,56		
ENCINARBS									
MARZO	3,80		4,82		4,16	27,66		13,62	6,61
MAYO	2,80		4,42		3,59	28,42		14,16	6,63
JULIO	2,72		4,98		3,94	27,98		14,96	6,96
AGOSTO	3,80		6,12		4,64	27,27		13,38	6,75
NOVIEMBRE		5,84		4,25			20,03		
ENCINARBS CON ROBLES									
MARZO	4,26		5,35		4,77	28,10		14,98	7,73
MAYO	3,00		4,71		3,24	34,98		15,07	6,69
JULIO	2,61		4,81		3,52	33,42		15,42	6,67
AGOSTO	3,91		6,36		4,65	31,59		14,36	6,92
NOVIEMBRE		5,88		4,18			20,03		
VEGETACIÓN DE RIBERA									
MARZO	3,92		4,80		4,07	24,23		12,88	6,55
MAYO	3,18		4,39		3,14	31,56		13,64	6,26
JULIO	2,47		4,44		3,30	30,31		14,48	6,27
AGOSTO	3,80		5,91		4,35	26,51		13,23	6,31
NOVIEMBRE		5,48		3,21			20,05		

Tabla 1.- Continuación.

RÉG. DESVIACIONES ESTÁNDAR									
CANAL	TM1	XS1	TM2	XS2	TM3	TM4	XS3	TM5	TM7
Cotro (µa)	0.49	0.55	0.55	0.65	0.66	0.83	0.84	1.65	2.22
PRADOS									
MARZO	2.08		1.88		1.87	5.03		3.89	2.54
MAYO	1.27		1.24		1.54	3.67		2.17	2.04
JULIO	1.53		1.68		2.07	3.04		3.03	2.47
AGOSTO	1.31		1.35		1.64	3.84		2.46	1.78
NOVIEMBRE		1.73		0.82			5.40		
ARBUSTIVO BAJO									
MARZO	2.83		2.77		3.00	8.27		4.72	3.24
MAYO	1.72		1.62		1.55	5.68		2.56	1.97
JULIO	1.55		1.38		2.36	4.28		3.92	2.89
AGOSTO	1.47		1.62		1.89	4.58		2.80	2.24
NOVIEMBRE		1.40		1.35			1.87		
ARBUSTIVO ALTO									
MARZO	1.51		1.53		1.45	6.31		3.82	2.28
MAYO	0.85		0.83		0.95	5.01		1.67	1.18
JULIO	1.04		1.27		1.42	3.45		2.51	1.75
AGOSTO	0.92		0.98		0.97	4.03		1.74	1.18
NOVIEMBRE		2.71		1.61			7.33		
PIÑARES									
MARZO	1.06		1.15		0.85	5.10		2.70	1.46
MAYO	1.56		0.83		1.41	4.22		1.59	0.85
JULIO	0.59		0.53		0.60	4.02		1.45	0.72
AGOSTO	0.65		0.71		0.61	3.11		1.47	0.67
NOVIEMBRE		1.80		1.06			4.32		
ENCINARES									
MARZO	1.36		1.31		1.22	5.91		2.91	1.90
MAYO	0.99		0.87		0.87	5.25		1.61	0.92
JULIO	0.95		0.93		0.78	4.90		1.67	1.12
AGOSTO	1.61		1.13		0.99	4.34		1.61	1.17
NOVIEMBRE		1.85		2.00			4.61		
ENCINARES CON ROBLES									
MARZO	1.65		1.77		1.63	6.72		4.37	2.72
MAYO	1.00		0.91		0.68	6.56		2.04	0.99
JULIO	0.90		0.96		0.90	5.97		1.97	1.10
AGOSTO	0.96		1.04		0.84	5.86		2.38	1.23
NOVIEMBRE		2.84		3.60			6.42		
VEGETACIÓN DE RIBERA									
MARZO	1.30		1.31		0.89	5.25		2.59	1.49
MAYO	0.88		0.68		0.64	5.53		1.52	0.86
JULIO	0.61		0.69		0.61	5.25		1.95	0.94
AGOSTO	0.81		1.02		0.82	4.08		2.10	0.85
NOVIEMBRE		2.01		1.23			6.58		

de edades, lo que implica una más difícil generalización.

- El grado de cobertura de la vegetación, cuando no es importante, también puede ocasionar variaciones en la reflectancia debidos al contenido en humedad del suelo (Guyot, 1989) y a la visibilidad de éste en función de la turgencia de la vegetación (Bariou et al., 1985a).

A estas dificultades hay que añadir el escaso número de reflectancia (y no de DN) sobre vegetación natural y el hecho que las curvas obtenidas en el laboratorio sobre hojas u otras partes, cuando existen, no son representativos en la comparación con la reflectancia del conjunto de la cubierta vegetal (Gilabert et al., 1986).

El objeto del presente estudio es obtener la caracterización espectral de 7 formaciones vegetales mediterráneas a partir de un método simplificado de corrección radiométrica (atmosférica y de iluminación) y de datos Landsat-TM y SPOT-XS. Los datos obtenidos permiten deducir la época óptima para discriminar cada formación, a la vez que aportan información cuantitativa sobre la dinámica de su respuesta espectral a lo largo del año.

2. METODOLOGÍA

La poca operatividad de muchos métodos de corrección radiométrica ha sido comentada en diversas ocasiones (p. ej. Bariou, 1985b) ya que a menudo son necesarios muchos parámetros que son desconocidos para la imagen a corregir. En nuestro caso anteriormente se ensayó (Pons, 1990) un método simplificado de corrección radiométrica al que recientemente hemos introducido algunas mejoras. Si bien no supone un modelo perfecto, proporciona valores cercanos a la reflectancia real de los objetos y se muestra útil en varios aspectos.

Este método de corrección radiométrica permite hallar una reflectancia efectiva simplificada (R_{efs}); este parámetro se calcula, para cada imagen y canal espectral, mediante la siguiente ecuación:

$$R_{efs} = \pi \cdot r^2 \cdot a \cdot (DN - K_1) / [\mu_s \cdot S_0 \cdot e^{(\tau_0/\mu_0)} \cdot e^{(\tau_0/\mu_v)}]$$

siendo:

a	coeficiente de calibración del sensor
DN	valor digital de cada píxel en la imagen a corregir
K_1	constante de difusión atmosférica a restar en cada imagen y canal
R	distancia Tierra-Sol
μ_s	coseno del ángulo entre el vector solar y la normal a la superficie del terreno en cada píxel (calculado a partir de un Modelo Digital de Terreno)
S_0	irradiación solar exoatmosférica para cada región espectral
τ_0	densidad óptica atmosférica para cada región espectral
μ_0	coseno del ángulo entre el vector y la normal a una superficie horizontal
μ_v	coseno del ángulo de visión zenital

El parámetro R_{efs} tiene la ventaja de ser aplicable siempre que se disponga de un modelo digital de terreno (MDT) de suficiente detalle de la zona en cuestión.

Las variaciones en la reflectancia de las autopistas han sido ajustadas, para cada canal espectral en las diferentes imágenes, a valores inferiores al 1,5%. Con ello se puede asegurar una importante homogeneidad de los datos obtenidos y, en su caso, que las variaciones que se observen en la radiometría de la vegetación se deberán a diferencias reales en su respuesta espectral en función de la época del año y, obviamente, de la longitud de onda.

Las firmas espectrales se han obtenido sobre áreas de entrenamiento (260 ha) localizadas en Collserola (Barcelona) mediante trabajo de campo.

Se ha dispuesto de imágenes de las siguientes fechas: 18 de marzo de 1985 (TM); 16 de mayo de 1989 (TM); 19 de julio de 1989 (TM); 1 de agosto de 1988 (TM); 25 de noviembre de 1989 (XS). La diferente configuración de bandas de sensores TM y HRV obliga a una mayor prudencia al comparar los canales equivalentes TM de Landsat y XS de SPOT.

3. ÁREA DE ESTUDIO Y FORMACIONES ESTUDIADAS

La sierra de Collserola, situada próxima a Barcelona, forma parte de la cordillera litoral catalana y está limitada por el Besòs al E y por el Llobregat al W, por la depresión del Vallès al N y por el llano de Barcelona al S. Presenta una variación interesante de vegetación (Bolòs, 1962; Cardona, 1980) y tiene condición de parque metropolitano (Sodupe, 1990). En dicho parque las altitudes oscilan entre los 28 m y los 512 m, mientras que las pendientes, calculadas a partir de un MDT de 30 m de costado, oscilan entre 0° y 67°, con una medida de 9°. El clima es típicamente mediterráneo, con medias anuales de 14°C de temperatura y 615 mm de precipitación; hay que destacar que la vertiente vallesana proporciona unas especiales condiciones de humedad que permiten la vida a especies de afinidades submediterráneas. El substrato es básicamente granítico-esquistoso.

Las formaciones estudiadas son las más representativas de la sierra. Se han agrupado las comunidades descritas por estudios fitosociológicos en grupos fisionómicos, más operativos por su extensión y características. Así pues se han distinguido:

- * prados, baldíos y pastizales (*Hyparrhenietum*, *Inulo-Oryzopsidetum*, etc.)
- * vegetación arbustiva baja (comunidades del *Cistion*)
- * vegetación arbustiva alta (comunidades de *Erica* arborea, *Arbutus unedo* o encinares jóvenes en recuperación)
- * pinares de *P. halepensis*
- * encinares (*Quercus ilex* ssp. *ilex*)
- * encinares con robles (*Quercus x cerrioides*)
- * bosque de ribera (complejo de *Polysticho-Coryletum*, *Li hospermo-Ulmetum* y *Carici-Salicetum*)

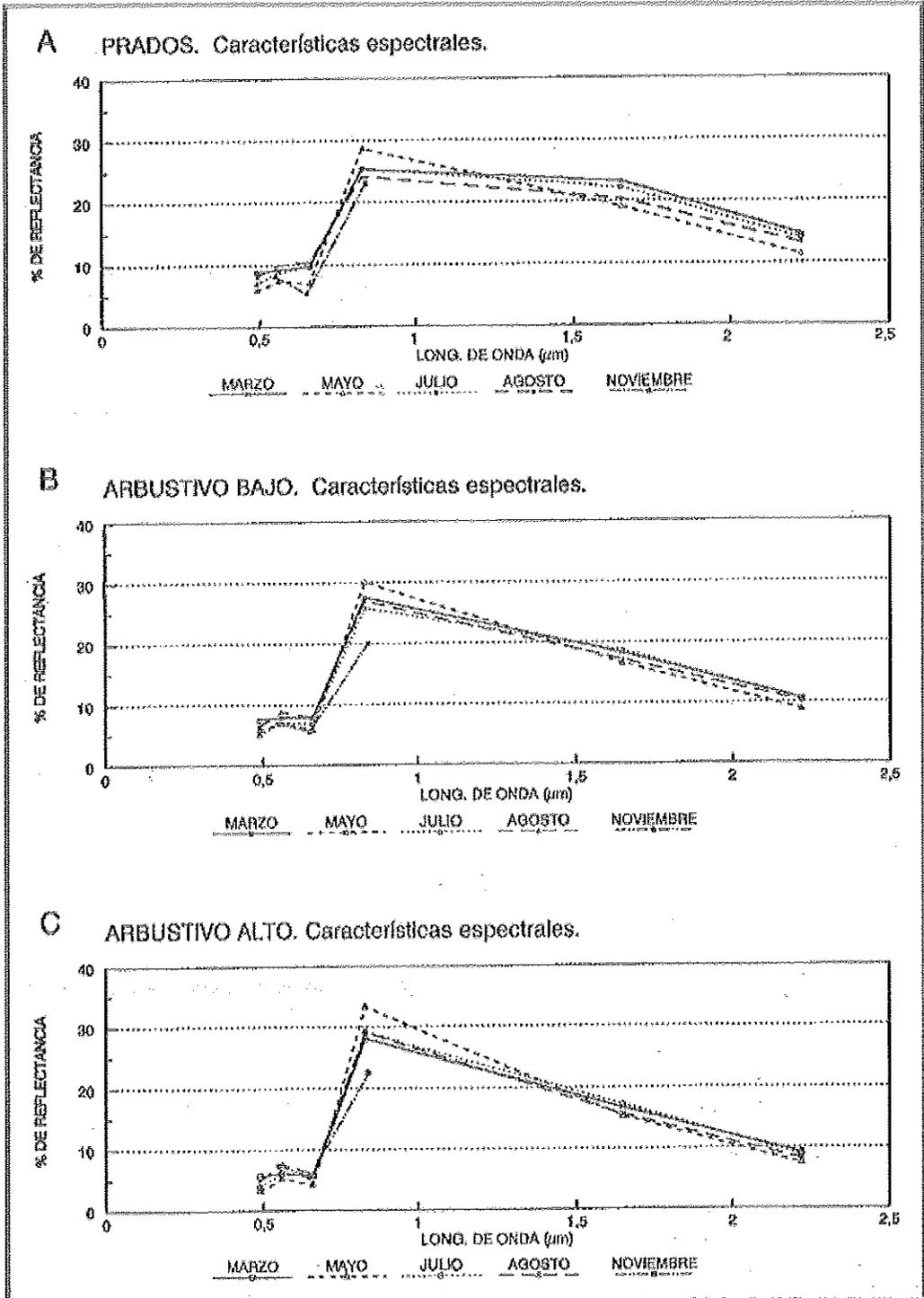


Figura 1.- Características espectrales de tres de las siete comunidades estudiadas (prados, arbustivo bajo y arbustivo alto) en los meses de marzo, mayo, julio, agosto y noviembre.

4. RESULTADOS

El conjunto de resultados puede verse en la Tabla 1, donde se constatan medias y desviaciones estándar. Es posible estudiar los datos desde dos puntos de vista: 1) Dinámica de cada formación vegetal a lo largo del año. 2) Comparación, en una misma época, de formaciones de discriminación problemática y deducción de la época óptima de entre las estudiadas.

Puesto que representar gráficamente las evoluciones espectrales de todas las formaciones a lo largo del año y compararlas para cada fecha para ver cuál presenta un poder discriminante mayor implicaría representar varias decenas de gráficos, nos limitaremos a exponer algunos ejemplos generales y a destacar los aspectos más importantes. El lector interesado en unas u otras formaciones podrá completar el análisis a partir de los datos de la Tabla 1.

4.1. Dinámica de cada formación vegetal a lo largo del año.

El estudio de la evolución espectral de cada formación vegetal tiene, además del evidente interés cartográfico, un interés biológico de primer orden debido al mal conocimiento de la dinámica fenológica de las especies mediterráneas.

Por razones de espacio no es posible profundizar aquí en la respuesta espectral de los vegetales ni en sus cambios en función de las condiciones ambientales, aspectos ampliamente descritos en la bibliografía correspondiente (Barthou, 1985a). Simplemente expondremos que la vegetación con buena vitalidad presenta una curva de respuesta espectral característica, con valores relativamente bajos en el visible, muy altos en el infrarrojo cercano y, aunque importantes, cada vez menores en el infrarrojo medio. En el rango del visible se distingue un máximo relativo en las longitudes de onda que percibimos como color verde, ya que en dicha región espectral la absorción fotosintética es mucho menos importante que en el azul o en el rojo. Por otra parte, existen unos máximos de absorción (mínimos de respuestas) en la región del infrarrojo medio, directamente relacionados con el contenido hídrico de la vegetación. Estas zonas no son captadas por los sensores TM de Landsat ni XS de SPOT. En caso de senescencia o de estrés, estas características evolucionan en el sentido de: 1) un aumento de la reflectancia en el verde y, especialmente, en el rojo; 2) una disminución de la reflectancia en el infrarrojo cercano (IRC) y 3) un aumento de la reflectancia en el infrarrojo medio (IRM) (Guyot, 1989). Este comportamiento general presenta modificaciones en función de la especie vegetal debido a la diferente actividad fotosintética, contenido hídrico, estructura interna de la hoja, etc.

En el caso de los prados (Figura 1A) se observa una gran variabilidad, lógica si se tiene en cuenta la gran cantidad de especies anuales, con ciclos biológicos distintos, que los componen. Obsérvese, sin embargo, como en marzo y mayo el comportamiento espectral es más propio de estados lejanos al momento de óptimo fisiológico (el cual se da en mayo). A este hecho deben de influir la menor concentración de pigmentos fotosintéticamente activos (corrimiento hacia

el rojo del máximo en el verde) y la mayor proporción de suelo visible.

En el caso de la vegetación arbustiva alta (Figura 1C), mayo presenta un típico comportamiento de vegetación activa y, debido al carácter más perenne de sus componentes, ya no se observan desplazamientos importantes de los máximos y mínimos en marzo o agosto. Un hecho parecido es posible constatar en los pinares y encinares (Figura 2A y 2B), así como su poca variabilidad, acorde con nuestra evidencia del ciclo anual. Obsérvese también que, de acuerdo con Gates et al. (1965), las plantas de hojas aciculares, en nuestro caso los pinos, presentan una reflectancia menor que los planifolios, en nuestro caso encinas.

El caso opuesto a pinares y encinares, en cuanto a variabilidad anual, lo forman los encinares con robles (Figura 2C), donde los cambios lógicos por la componente caducifolia se hacen evidentes. Es curioso constatar que las regiones espectrales correspondientes a TM5 y TM7 ofrecen pocos cambios y que la respuesta de marzo y noviembre es parecida a la del encinar, hecho éste que nos llevaría a pensar en un papel poco importante de las hojas de roble cuando no están o están marchitas, contrastante con el brusco cambio en la imagen de mayo, cuando ya han aparecido las nuevas hojas en el bosque mixto.

Como resumen de la dinámica fenológica y a nivel general, podemos destacar que en mayo siempre se produce el lógico máximo en el IRC (TM4) y un mínimo en el IRM (TM5, TM7). Por otro lado en noviembre es destacable, y lógica por la baja actividad vegetal, la baja $R_{0.65}$ en el IRC en todas las formaciones estudiadas aunque, como ya se ha dicho anteriormente, debe tenerse en cuenta la diferente configuración de bandas de los dos sensores utilizados.

Es remarcable también el hecho general que en julio TM5 y TM7 presenten valores más altos que en agosto. Aunque el hecho de corresponder a años diferentes y con sólo 14 días entre fechas podría explicar este extraño comportamiento, habría que analizar si se produjeron diferencias climáticas importantes entre ambos años.

4.2. Comparación, en una misma época, de formaciones de discriminación problemática y deducción de la época óptima de entre las estudiadas.

En este caso el interés es eminentemente cartográfico. El método para evaluar la separabilidad ha sido el de la distancia normalizada entre las medias (Swain and Davies, 1978):

$$d_{\text{norm}} = \frac{|\mu_1 - \mu_2|}{(\sigma_1 + \sigma_2)}$$

La normalización mediante la incorporación de la desviación estándar hace que se tenga en cuenta no sólo la distancia entre los centros espectrales sino también la variación interna de las clases, con lo que se gana enormemente en fiabilidad estadística. Se ha utilizado esta medida de separabilidad por su simplicidad y por dar resultados directamente relacionados con los obtenidos por un clasificador basado en

este parámetro o incluso en uno de mínima distancia euclidiana. En posteriores estudios se completarán las medidas de separabilidad con estimadores más cercanos a los criterios de los clasificadores de máxima probabilidad y con un comportamiento de "saturación" en función del aumento de distancia (Swain and Davies, 1978), estadísticamente más precisos.

Por las mismas limitaciones antes aludidas no se expondrán todos los resultados aunque reiteramos que el lector interesado puede realizar los análisis complementarios a partir de la Tabla 1. Se ha calculado la época óptima tomando los 6 canales del visible, IRC e IRM de TM. También se ha hecho el cálculo con las bandas verde, roja e IRC para TM y XS, con resultados parecidos que no se expondrán. En cualquier caso téngase presente que los diferentes centros espectrales y amplitud de banda de dichos sensores obliga a una mayor circunspección en la comparación.

En el caso de la comparación pinar-encinar, la distancia acumulada llega a ser 3,4 veces mayor en la época mejor (julio) que en la peor (marzo). Téngase en cuenta que los gráficos no reflejan la dispersión para no disminuir su claridad con más símbolos.

Para la comparación encinar-encinar con robles, se observa un lógico óptimo en mayo por la aparición de la tierna hoja de los robles. La peor discriminación se produce en marzo y agosto; en este último caso porque, posiblemente por estrés hídrico, los robles aumentan la reflectividad en el visible y la disminuyen en el IRC, acercándose a la reflectividad de la encina. Sin embargo, la mejora al usar julio respecto a usar agosto es poco importante ya que la distancia acumulada sólo es 1,5 veces mayor.

En el caso del encinar con robles-arbustivo alto, la comparación es importante ya que la segunda formación es una fase de transición hacia el encinar o encinar con robles. La distancia acumulada es 2,65 veces mayor en julio que en marzo. Sin duda el momento del óptimo debe producirse porque en julio todavía debe ser importante la actividad de los robles, situados en umbrías y lugares especialmente húmedos, mientras que las comunidades arbustivas altas, situadas especialmente en las solanas, ya han empezado a sufrir el estrés hídrico estival.

Como observaciones generales a la separabilidad en las diferentes épocas, podemos destacar los siguientes aspectos:

- * En noviembre los valores son menores en cualquier canal. No es el mes óptimo para discriminar ningún tipo de formación.
- * IRC (TM4, XS3), pese a tener las medidas más separadas, presenta la mayor dispersión de datos y, en consecuencia, por sí solo es poco informativo para la separabilidad.
- * Rojo (TM3, XS2) e IRM (TM7) presentan en general altos valores de distancia interclases.

Si tomamos los 6 canales TM y prescindimos de la imagen de noviembre, podemos ordenar los canales de mayor a menor poder discriminante:

TM3 (73,99) - TM7 (72,26) (Inconveniente de SPOT) -

TM1 (63,16) - TM2 (59,53) - TM5 (58,82) - TM4 (27,72).

En valor absoluto, el canal y época más discriminantes son:

TM3 AGOSTO (22,05) - TM7 AGOSTO (20,99) -
TM3 JULIO (20,55) - TM7 JULIO (20,19) - etc.

..y los de menor poder discriminante:

XS2 NOVIEMBRE (8,84) - TM4 MAYO (7,73) - XS1
NOVIEMBRE (6,07) - XS3 NOVIEMBRE (4,28) - TM4
MARZO (3,32).

Obsérvese que también en noviembre se mantiene la relación rojo-menor e IRC-peor. Para cada estación, se ha calculado la suma de todas las distancias interclases a fin de tener una estima del poder discriminante que presentan. Tanto si tomamos 6 canales como si tomamos 3 el resultado es el mismo.

AGOSTO - JULIO - MAYO - MARZO - NOVIEMBRE

Con 6 canales la distancia total siempre es mayor e incluso la peor imagen (MARZO, 74,35) presenta un mayor poder discriminante que la mejor (AGOSTO, 47,54) con sólo 3 canales.

5. CONCLUSIONES

Los datos expuestos aportan información para el conocimiento de la dinámica de algunas formaciones vegetales mediterráneas a la vez que muestran las épocas óptimas para discriminar ciertas formaciones problemáticas e incluso qué épocas ofrecen mayor poder discriminante, globalmente, sobre la vegetación. Pensamos que el hecho de haber desarrollado el trabajo sobre formaciones naturales mediterráneas le confiere un especial interés, debido a la poca información cuantitativa que existe sobre la fenología y respuesta espectral de dichos ecosistemas.

Aunque creemos que la aproximación realizada es válida, hay que añadir a las limitaciones y consideraciones apuntadas en el texto que quedan muchas variables por controlar, como la climatología inmediatamente anterior a las fechas de toma de las imágenes (aunque no conozcamos la fisiología exacta de las especies podría posibilitar estimaciones de tendencia a la alta o a la baja en ciertos canales espectrales), la edad media o, al menos, una estima de la biomasa de las formaciones (sean en forma de DBH medio u otro estimador), el régimen de explotación de los bosques (mal conocidos en nuestro país), etc.

Entre los trabajos que pensamos desarrollar a continuación destacamos el estudio de los dos índices clásicos de vegetación, IR/R y (IR-R)/(IR+R) y la validación de los presentes resultados con imágenes de las mismas épocas pero de diferentes años.

6. AGRADECIMIENTOS

Estos trabajos se están llevando a cabo gracias a una beca de Formación de Investigadores de la Direcció General d'Universitats de la Generalitat de Catalunya y a una ayuda a la investigación para jóvenes investigadores de la Comissió In-

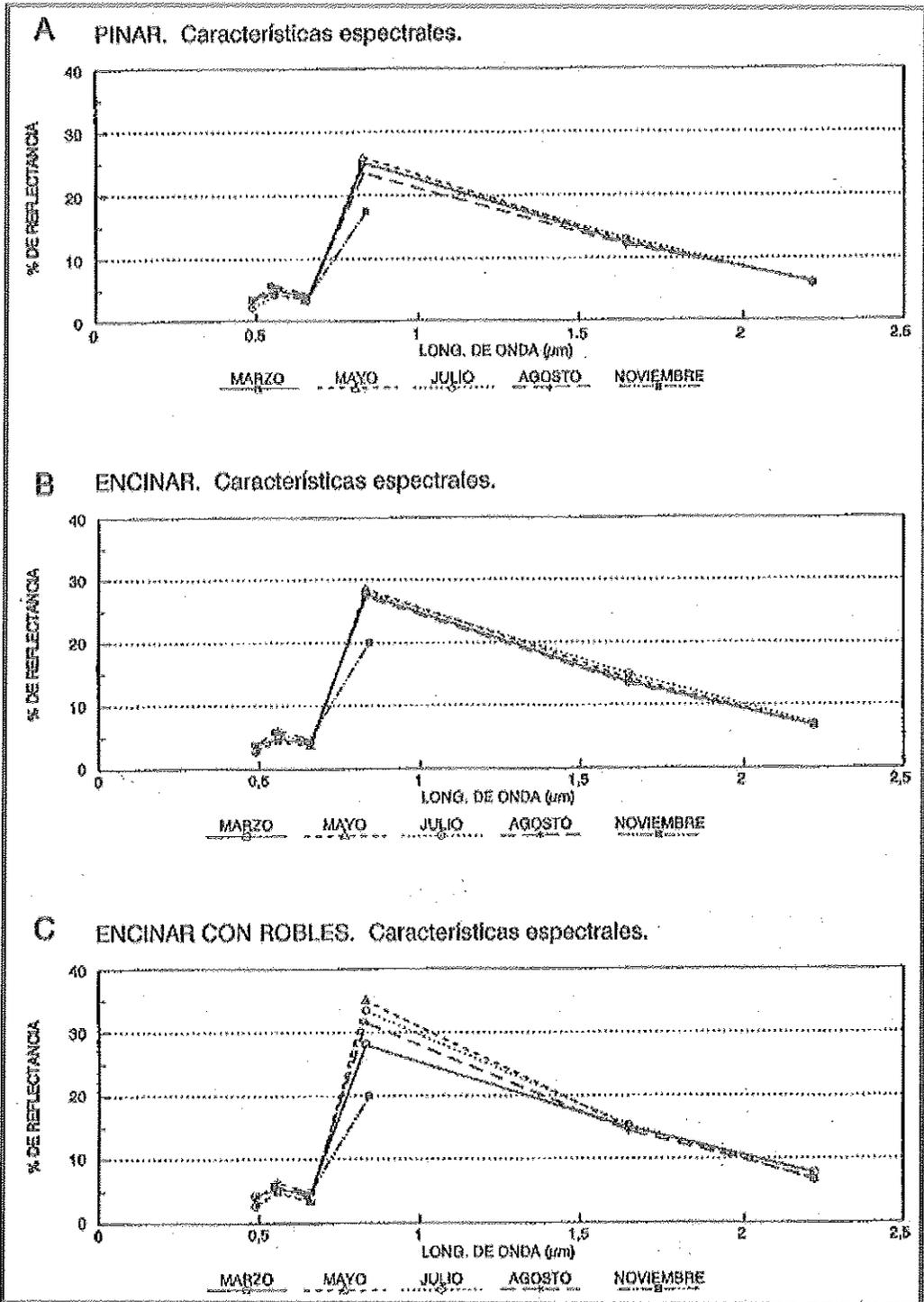


Figura 2.- Características espectrales de tres de las siete comunidades estudiadas (pinar, encinar y encinar con robles) en los meses de marzo, mayo, julio, agosto y noviembre.

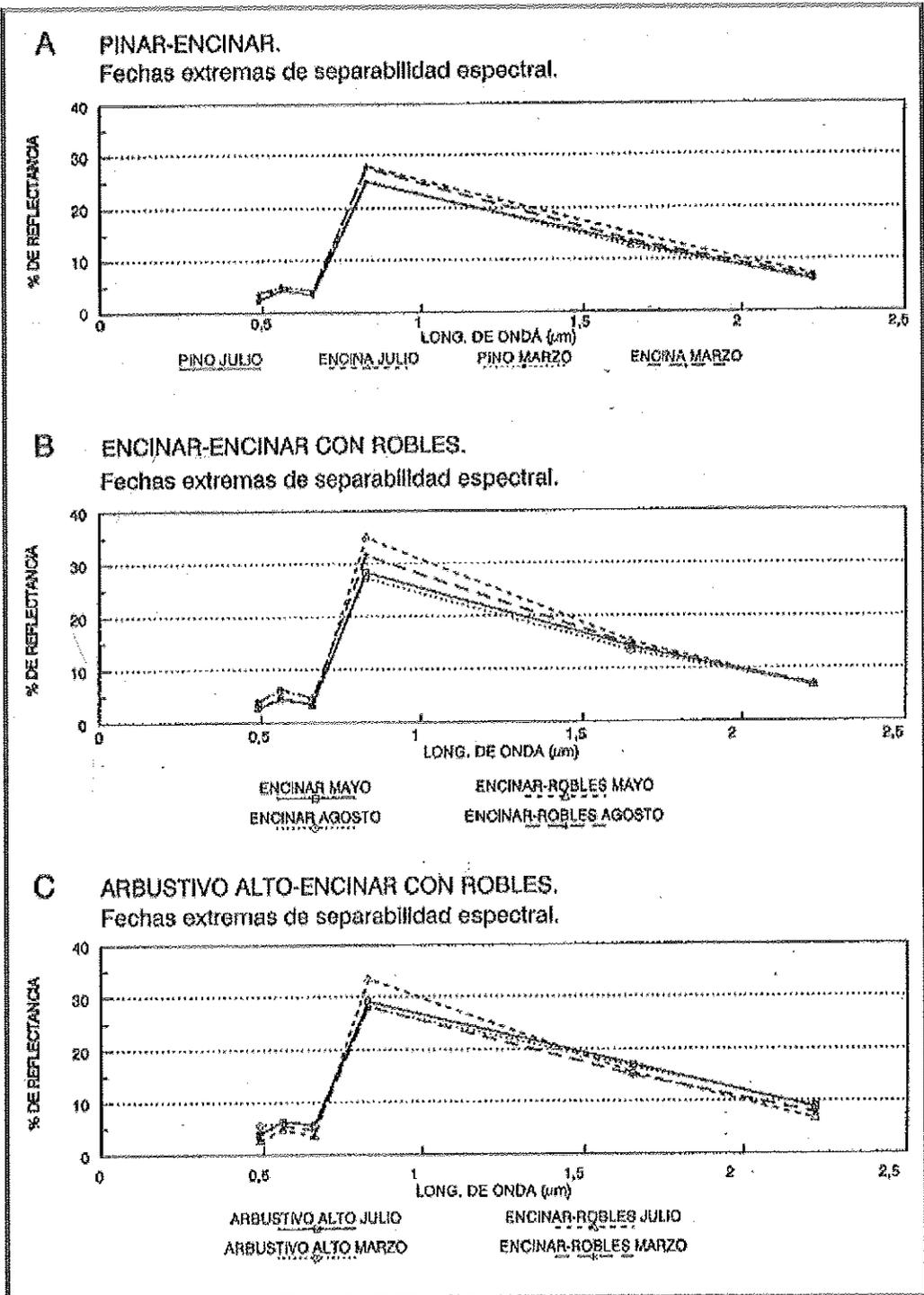


Figura 3.- Comparación de las características espectrales en las épocas de máxima y mínima separabilidad espectral para algunas de las comunidades estudiadas. El primer mes corresponde a la época de máxima separabilidad mientras que el segundo a la mínima.

terdepartamental de Recerca i Innovació Tecnològica, CIRIT. Deseamos expresar nuestro especial agradecimiento al Departament de Geografia de la Universitat autònoma de

Barcelona, al Institut Cartogràfic de Catalunya y al Institut de Ciències de la Terra Jaume Almera, sin cuya ayuda humana, material y técnica no se hubiera podido realizar este estudio.

7. BIBLIOGRAFIA

- ✓ BARIOU, R.; LÉCAMUS, D. & LE HENAFF, F. (1985a): *Réponse spectrale des végétaux*. Presses Universitaires de Rennes 2. Rennes. 92 p.
- ✓ BARIOU, R.; LÉCAMUS, D. & LE HENAFF, F. (1985b): *Albedo, Reflectance*. Presses Universitaires de Rennes 2. Rennes. 92 p.
- ✓ BARIOU, R.; LÉCAMUS, D. & LE HENAFF, F. (1985): *Corrections atmospheriques*. Presses Universitaires de Rennes 2. Rennes. 116 p.
- ✓ BOLS, O. de (1962): *El paisaje vegetal barcelonés*. Fac de Filosofia y Letras. Univ. de Barcelona. Barcelona. 192 p.
- ✓ CARDONA, M. A. (1980): *Funcionalisme i ecologia d'algunes comunitats vegetals barcelonines*. Institut d'Estudis Catalans. Barcelona. 348 p.
- ✓ FOSTER, B.C. (1984): Derivation of atmospheric correction procedures for LANDSAT MSS with particular reference to urban data. *International Journal of Remote Sensing*. 5: 799-817.
- ✓ GILARBERT, S.; GANDIA, S.; SEGARRA, D. & MELIA, J. (1986): Análisis multitemporal de los valores de reflectividad en cultivos cítricos mediante el sensor TM. *Comunicaciones de la I Reunión Científica del Grupo de Trabajo en Teledetección*. Barcelona. pp. 237-250. Institut Cartogràfic de Catalunya. Barcelona.
- ✓ GUYOT, G. (1989): *Signatures spectrales des surfaces naturelles*. Paradigme. Caen. 178 p.
- ✓ PONS, X. (1990): *Utilització d'un model de correcció radiomètrica sobre imatges de satèl·lit per a la millora de la cartografia automàtica de la vegetació*. Serra de Colserola. Tesis de Licenciatura. Facultat de Ciències. Universitat Autònoma de Barcelona. 74 p.
- ✓ SODUPE, M. (1990): *El Pla Especial d'Ordenació i Protecció del Medi Natural*. Barcelona, Metròpolis Mediterrània. 14: 96-100.
- ✓ SWAIN, P.H. & DAVIES, S.M. (1978): *Remote Sensing: The Quantitative Approach*. McGraw-Hill. N.Y. 396 p.