

Las imágenes Landsat/TM en la caracterización de suelos, vegetación y unidades paisajísticas

J. Ojeda⁽¹⁾, J.M. Moreira⁽²⁾, G. Sartori⁽³⁾ y A. Desbarres⁽⁴⁾

(1) Dep. Geografía. U. Sevilla. Fac. Geografía e Historia.
c/ María de Padilla s/n. Sevilla

(2) Agencia de Medio Ambiente. Junta de Andalucía. c/ Laraña, 4. Sevilla

(3) Istituto di Geologia Applicata. Piazzale delle Cascine, 15.
Firenze 50122. Italia.

(4) Casa de Velázquez. Ciudad Universitaria. 28040 Madrid.

INTRODUCCION.-

El presente trabajo se ha realizado en el marco del Proyecto Piloto EARTHNET-NPOC 1984, nº 10, desarrollado por la Agencia de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía y persigue, con carácter genérico, el análisis e identificación de unidades edáficas, de vegetación y, como un nivel de síntesis, la delimitación de unidades de paisaje.

Este objetivo general, esencialmente ligado a la representación cartográfica de estos elementos a escalas de semidetalle (1/50.000), nos ha permitido igualmente evaluar la capacidad y alcance de una cartografía temática generada automáticamente como expresión gráfica de determinados tratamientos digitales en las imágenes TM seleccionadas. Específicamente el análisis se concreta en la identificación de aquellas características propias de los elementos objeto de estudio que influyen en mayor medida en sus respuestas espectrales y, complementariamente, que bandas o canales proporcionan la información mas significativa en la capacidad de segregación y análisis. Junto a ello se evalúan diferentes métodos y técnicas de tratamiento (análisis radiométrico, combinaciones de bandas, clasificaciones automáticas y supervisadas, índices...)** con el

fin de precisar detalladamente su mayor o menor adecuación a los objetivos prefijados o a las características físico-naturales de las zonas de estudio. Las nuevas posibilidades que brinda la resolución espectral y espacial del sensor TM ha hecho posible el análisis comparativo respecto a las ofrecidas por el sensor MSS, permitiéndonos determinar el alcance del nuevo sensor en los temas específicos que se desarrollan en este trabajo.

Para confirmar las posibilidades operativas y nuevas prestaciones del TM, se han seleccionado dos zonas correspondientes a los espacios que ocupan de forma aproximada las hojas nº 942 y 1050 del Mapa Topográfico Nacional, escala 1/50.000 (Fig. 1).

La hoja nº 942 se sitúa en el curso medio del Guadalquivir, caracterizándose a nivel geológico por ser una zona de contacto entre un macizo hercínico (Sierra Morena) y una cuenca sedimentaria (La Depresión Bética) lo que contribuye a otorgarle un amplio margen de representación regional, a la vez que sus características físico-naturales y de uso se adecuan perfectamente a los objetivos del estudio. A nivel geomorfológico, la relación entre estas dos grandes unidades se realiza a través de coberteras bioclásticas discordantes, sobre las que se labran, a veces, glaciares frontales que enlazan las agrestes tierras serranas con los diferentes niveles de terrazas del Guadalquivir, cuyo cauce circula de este a oeste en el sector meridional de la hoja. Este contraste geomorfológico se reproduce fielmente entre los fértiles suelos desarrollados sobre los materiales aluviales del río y las margas miocenas que rellenan la Depresión y los esqueléticos suelos de Sierra Morena que sostienen una vegetación natural típicamente mediterránea. En ella predomina la formación de durilignosa (encinas, alcornoques, matorral xerófilo, dehesas...) en diferentes estadios de evolución. Por el contrario, en la Depresión

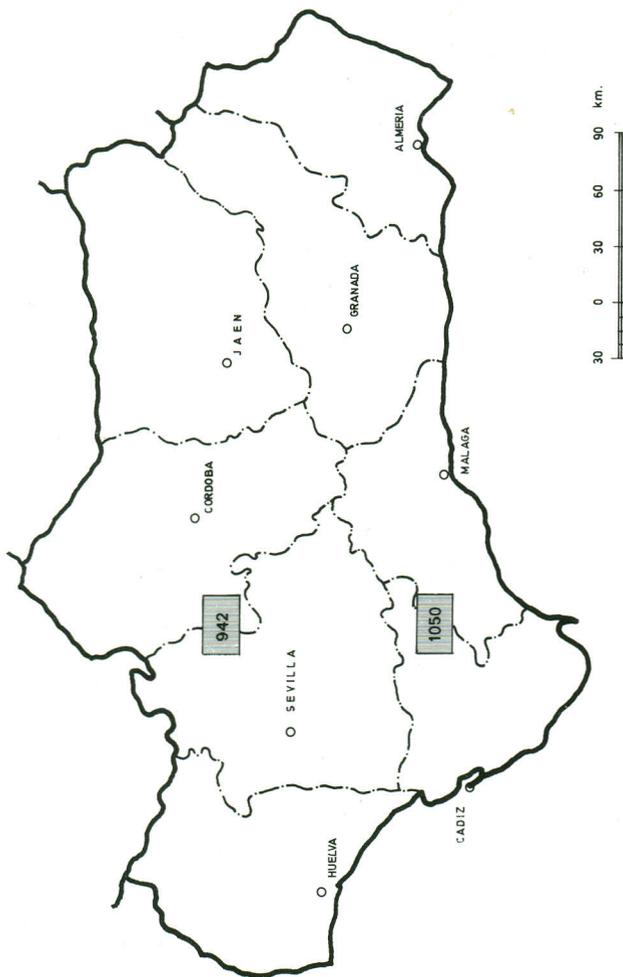


Fig. 1 Localización de las zonas de estudio.

Bética se dan cita desde las extensas áreas de regadío en la Vega y Terrazas del Guadalquivir, sometidas a una intensiva explotación, a los potentes suelos que se desarrollan sobre las margas miocenas, de excelente calidad para los cultivos de secano.

La hoja 1050 (Ubrique) recoge una amplia extensión del Parque Natural de Grazalema que, situado en el nordeste de la provincia de Cádiz, forma parte del amplio complejo montañoso de las cordilleras Béticas. De este conjunto, constituido fundamentalmente por series de dolomías y calizas, que favorecen la génesis de una importante morfología kárstica, sobresale por su entidad la Sierra del Pinar (1654 mts. de altitud). La intensa morfogénesis en tan accidentado conjunto favorece la presencia de afloramientos rocosos labrados por los procesos kársticos, a la vez que limita considerablemente el desarrollo edáfico. Estas características han favorecido el desarrollo de una vegetación variada y específica, distribuida entre los pisos termo y meso-mediterráneos, donde se dan cita especies endémicas de enorme valor ecológico (*Abies pinsapo* bois).

Junto a la masa forestal constituida por esta especie, en el ámbito de estudio están presentes extensas masas de encinas, alcornoques, quejigos etc y zonas ocupadas por fases regresivas de bosques de encinas (dehesas y matorral...) entre las que se sitúan amplias bandas de transición.

ANÁLISIS E INTERPRETACION DE UNIDADES DE SUELOS.-

La identificación y delimitación de unidades edáficas se ha centrado en el sector de Palma del Río, ya que sus características morfológicas y de uso permitían este análisis con mayor facilidad. En esta zona piloto la vega está representada por aluviones recientes y por el primer nivel de terrazas, estando los niveles restantes ausentes. Los suelos desarrollados sobre los aluviones recientes son de perfil AC, pro-

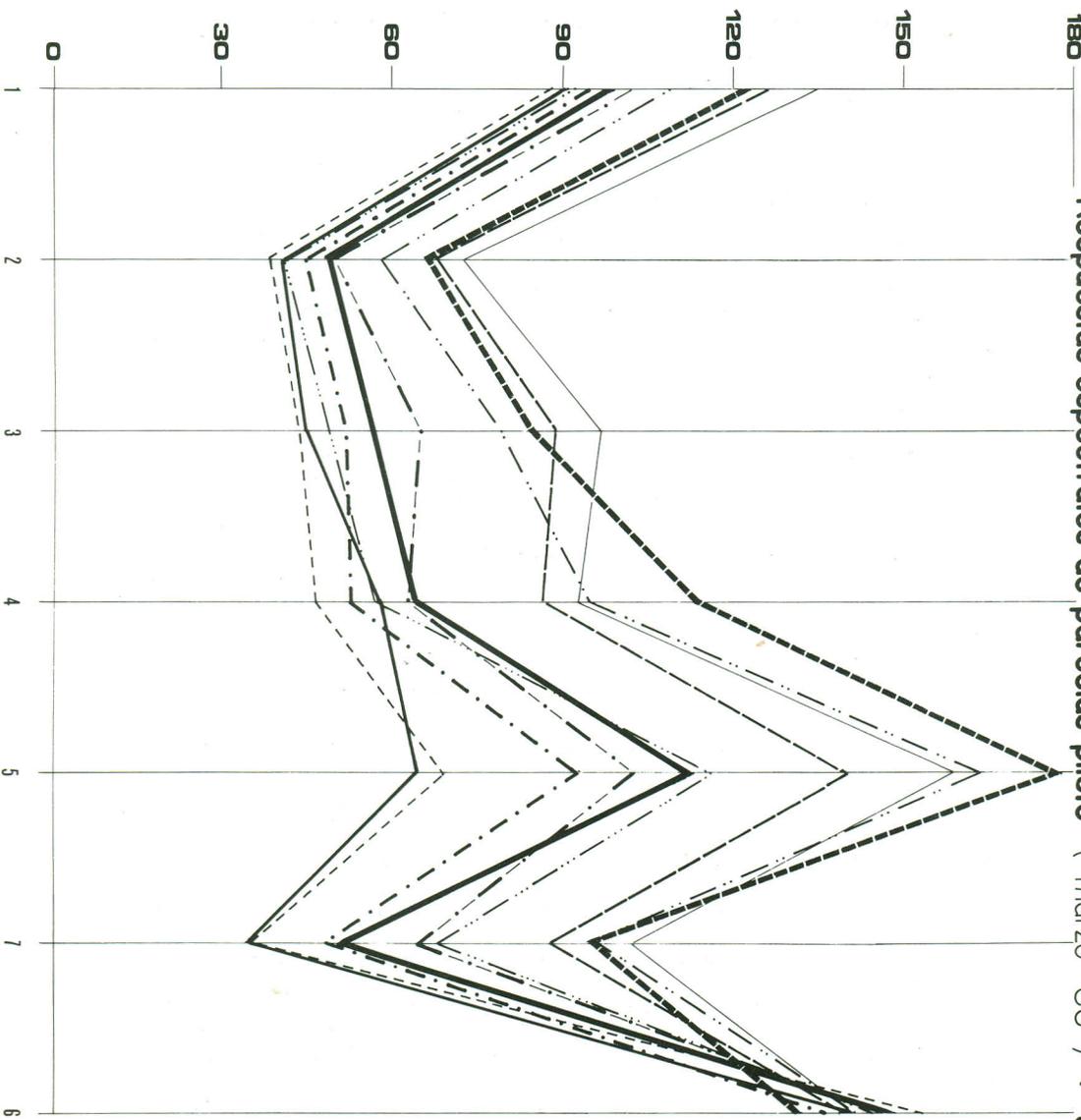
fundos, de color pardo o pardo oscuro, moderadamente calizos, pobres en materia orgánica y sus texturas varían considerablemente. Los suelos de las terrazas del primer nivel presentan en su mayoría un carácter vértico en relación con la textura arcillosa debida a los aportes de material procedentes de las margas miocenas; son de color pardo oscuro o pardo grisáceo oscuro y calizos. Los suelos desarrollados sobre las margas miocenas, conocidos como suelos margosos béticos, presentan un perfil Ap (B) C y son arcillosos y vérticos, de color pardo oliva o pardo amarillento, calizos y pobres en materia orgánica. Sobre las calizas y calizas margosas miocénicas se encuentran, en relación con la morfología ya vertisoles, ya un complejo de suelos rojos y suelos derivados de estos por un efecto, más o menos acusado, de la erosión.

El análisis radiométrico (Fig. 2) nos proporciona valores elevados para las parcelas correspondientes a los aluviones recientes. Este comportamiento corrobora las observaciones de varios autores sobre la reflectancia de los suelos poco evolucionados y claros, mediante medidas de laboratorio (CONDIT, 1970; STONER AND RAUMGARDNER, 1981) y datos del sensor MSS (WEISMILLER, PERSINGER AND MONTGOMERY, 1977). Las parcelas sobre aluviones recientes además tienen curvas muy similares, caracterizados por valores elevados en las bandas 1 y 5 y una forma convexa en el intervalo entre los canales 2 y 4.

Dada la notable uniformidad de los colores de los suelos aluviales, se ha pensado en atribuir las diferencias entre las curvas de las parcelas (situadas en la parte superior del gráfico) a diferencias de humedad. La radiancia del suelo, en efecto, aumenta a medida que se va secando el mismo, permaneciendo prácticamente inalterada la forma de la curva (BAUMGARDNER AND ALII, 1985). En efecto, las parcelas con drenaje menos rápido y textura más fina están colocadas más abajo en el grá-

FIG. 2 **Respuestas espectrales de parcelas piloto (marzo '86) : SUELOS DESNUDOS**

(PALMA DEL RIO)



N.º PARCELA

- TIPO Y CLASIFICACION DEL SUELO**
- 1 - Suelos aluviales. TYPIC XEROFLEUVENT.
 - 2 - ID. ID. ID.
 - 3 - ID. ID. ID.
 - 4 - Suelos vérticos. VERTIC XEROFLEUVENT.
 - 5 - ID. ID. ID.
 - 6 - ID. ID. ID.
 - 7 - Suelos calcáreos de erosión. XEROCHREPT.
 - 8 - Vertisuelos. ENTIC CHROMOXERERT.
 - 9 - Complejo de suelos rojos y de erosión. XERORTHENT, XEROCHREPT Y HAPLOXERALE.
 - 24 - Vertisuelos. ENTIC CHROMOXERERT.

fico, siendo las diferencias más acusadas en las bandas 5 y 7.

Los suelos arcillosos oscuros de la zona piloto se caracterizan por valores radiométricos, en conjunto, bajos. La forma de la curva queda caracterizada por una inclinación en el intervalo definido por las bandas 2 y 4, inferior a la característica de otros suelos. Excluyendo las bandas 5 y 7 los valores de las distintas parcelas de suelos vérticos no son muy distintos. Las diferencias radionétricas en los canales 5 y 7 separan muy bien los suelos vérticos de llanura (curvas 5 y 6) de los de pendiente (curvas 8 y 24); el distinto drenaje de los dos grupos de suelos es el responsable de la diferente respuesta espectral.

Los suelos de erosión presentan características similares a los suelos aluviales en sus respuestras espectrales, sin embargo se diferencian de aquellos por los altos valores radiométricos en los canales 4 y 5.

Tal comportamiento está relacionado, bien con la escasa humedad de tales suelos calizos bien con la notable radiancia de la caliza clara en esa longitud de onda.

La interpretación de las imágenes en falso color (escala aproximada 1/50.000) se ha basado principalmente en las diferencias de color y tono, además de utilizar el esquema de la red hidrográfica como factor correctoren determinados casos. En todas las combinaciones utilizadas se distinguen facilmente los suelos sobre aluviones recientes; el color claro de estos es el reponsable de los altos valores radiométricos. La posición fisiográfica y la ausencia de red de drenaje, permiten distinguir en la fotointerpretación estos suelos de otros (calizos claros) que tienen también elevados valores de reflectancia. Las combinaciones de bandas que mejor expresan la heterogeneidad de los suelos de vega, en relación a las distintas condiciones de drenaje y textura, son la 7-43 y (en menor medida) 3-5-4, de acuerdo con la eficacia de los canales 7 y 5 en

la detección de las diferencias de humedad. En correspondencia con el segundo nivel de terrazas aparecen unas manchas oscuras correspondientes a la superposición de una sutil capa de material fino, procedente de las margas miocenas que lo bordean. Ese caracter escapa a la fotointerpretación convencional en fotografías aéreas.

Los suelos vérticos del nivel mas alto de terraza se distinguen sobre las imágenes por valores radiométricos menores. En todas las combinaciones utilizadas se aprecia la presencia de una banda, contigua al escarpe que conecta con el nivel de terraza inferior, con valores radiométricos elevados (pero inferiores a los aluviones recientes). Tal rasgo es debido a una menor influencia de las margas terciarias en la faja que queda mas lejos de éstas, o bien a la erosión (más acusada en los bordes de la terraza) que ha arrastrado la capa arcillosa superficial.

Las margas miocenas y los suelos vérticos que caracterizan tal formación, aparecen con tonalidades oscuras, debido a los bajos valores radiométricos, y con aspecto abigarrado, relacionado con la morfología y la red de drenaje típicas de este material. La combinación de bandas que mejor expresa la heterogeneidad de la formación (morfología y suelos) es la 2-3-4. El distinto modelo de red de drenaje permite distinguir estos suelos de los vertisoles sobre calizas miocenas, aunque el color es similar.

El complejo de suelos más o menos erosionados (entisoles e inceptisoles) sobre laderas de caliza miocenas, tienen varias tonalidades, en general más claras que las precedentes. La variabilidad edafológica está muy bien expresada en tales imágenes: la erosión hídrica, en efecto, incidiendo sobre los horizontes superficiales descubre los más profundos, de color claro, y la costra blanca, ambos con reflectancias superiores. Las combinaciones de bandas que mejor expresan tal caracter son la 3-4-7, 3-4-5 y 1-2-5.

En las imágenes derivadas de la clasificación automática en torno a centros móviles con preasistencia espectral de los índices de vegetación y brillo, y de la clasificación hipercuba sobre los mismos índices, los aluviones recientes resultan diferenciados en varias clases, que reflejan diferencias de textura y drenaje. Respecto a los otros suelos, sin embargo, la información proporcionada por la clasificación hipercuba es menor que la de la clasificación automática.

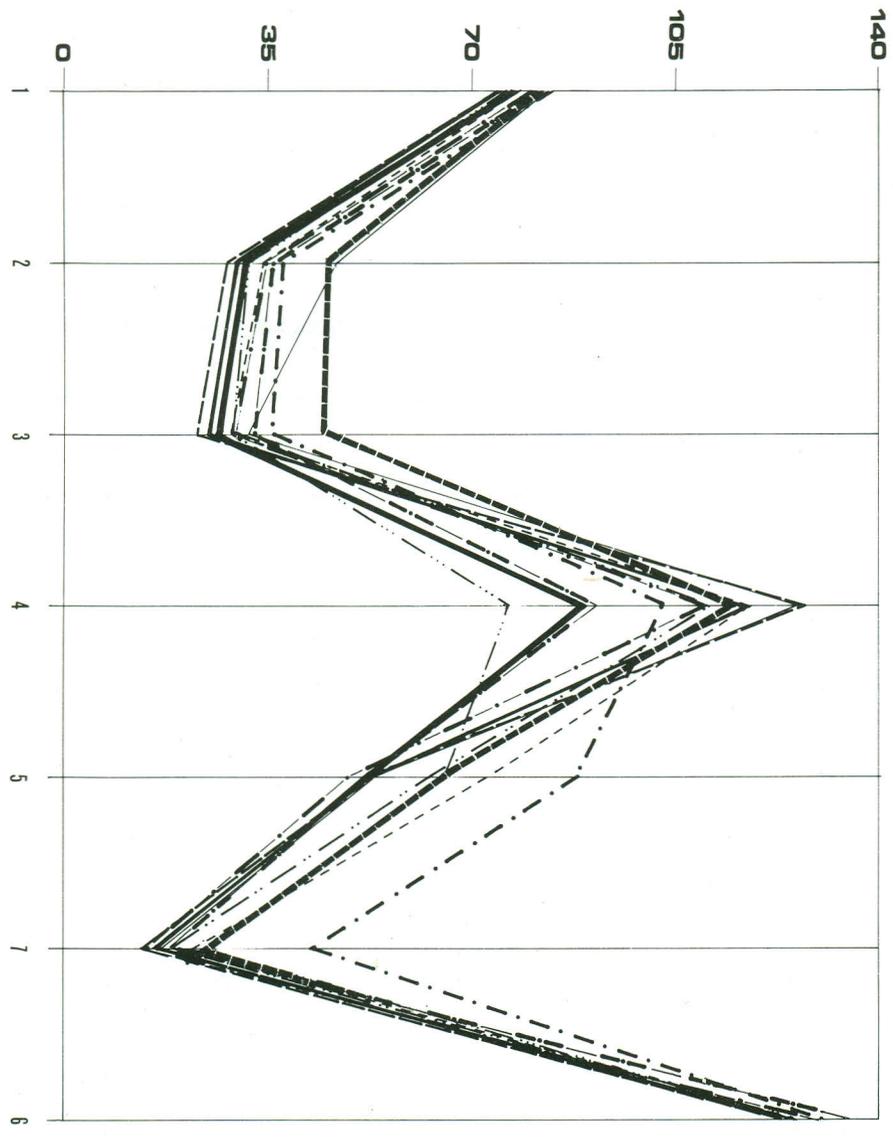
ANALISIS E INTERPRETACION DE LA VEGETACION Y UNIDADES PAISAJISTICAS.-

La capacidad de segregación de las diferentes unidades de vegetación y el estudio de su naturaleza, ha centrado nuestro trabajo en este apartado, donde para buscar una mayor operatividad analizaremos por separado los resultados obtenidos en el estudio de los cultivos y de la vegetación natural. De la observación de la figura nº 3 podemos deducir las escasas diferencias existentes entre las curvas espectrales de los cultivos y la vegetación natural en el sector de Palma del Río, en parte explicables por la fecha de la imagen (19-IV-84), donde tanto la vegetación natural como los cultivos se encuentran en plena actividad vegetativa. La heterogeneidad se centra en el canal 4 y en menor medida en el 2, siendo estos canales los que han aportado una mayor capacidad de segregación, aunque en la práctica hemos encontrado una gran dificultad en el reconocimiento de especies a través del análisis espectral. A ello contribuye tanto la heterogeneidad del substrato y la complejidad morfológica del espacio, como las diferentes técnicas de laboreo a que se someten las parcelas que distorsionan igualmente la respuesta específica del cultivo. Esto nos ha puesto de manifiesto la necesidad de investigar el estado fenológico adecuado de cada cultivo para su correcta interpretación, sobre todo en los cultivos herbáceos. Los cultivos arbóreos (naran

FIG. 3 Respuestas espectrales de parcelas piloto : VEGETACION

(PALMA DEL RIO)

VALOR RADIOMETRICO
(0 - 255)



Nº PARCELA	CULTIVO Y VEGETACION
11	Remolacha
12	Remolacha
13	Trigo
14	Matorral
15	Pastizal
16	Trigo
17	Colza
18	Matorral
19	Matorral
22	Naranjos
23	Remolacha

Numero de la Banda TM

jos, olivos...) presentan igualmente una gran dificultad de segregación atendiendo estrictamente al análisis espectral, ya que dependiendo del marco de plantación la influencia del substrato que el cultivo no cubre, modifica la medidas espectrales recogidas por el sensor.

En casi todas las combinaciones de bandas es posible distinguir el matorral de los cultivos, en relación no solo a las diferencias de tono y color sino a la ausencia de drenaje y a la tendencia a formas geométricas que presentan los campos cultivados, siendo las combinaciones en las que se realiza una mejor separación la 3-5-4, 2-3-5-, 7-4-3 y 3-4-5. El trigo se reconoce, aunque no siempre fácilmente en las combinaciones 2-3-5 y menos en la 1-2-5, distinguiéndose en la mayoría de los casos de la remolacha, que presenta tonos diferentes según se ubique sobre suelos aluviales o vérticos. Ninguna combinación permite individualizar nitidamente todos los naranjos, aunque una vez delimitados estos en otras combinaciones (2-3-5 y 3-4-5) podemos diferenciar entre masas de diferente edad, intensificación en las plantaciones o distinguir el vigor vegetal. En ninguna combinación los olivares aparecen con colores o tonos que permitan distinguirlos de los pastizales. El marco de plantación de estos (9 x 9 mts.) hace que los pastos, que en esta fecha cubre el suelo, influyan considerablemente en la respuesta espectral del cultivo.

La información proporcionada por la clasificación en torno a centros móviles de los índices de vegetación y brillo, puede ser incrementada teniendo en cuenta en la interpretación factores como la morfología y las relaciones entre ésta y el cultivo. De esta forma una información caótica a primera vista, se clarifica y permite distinguir los naranjos del matorral o la remolacha de los pastos. La clasificación hipecuba de los mismos índices ha proporcionado resultados parecidos, aun

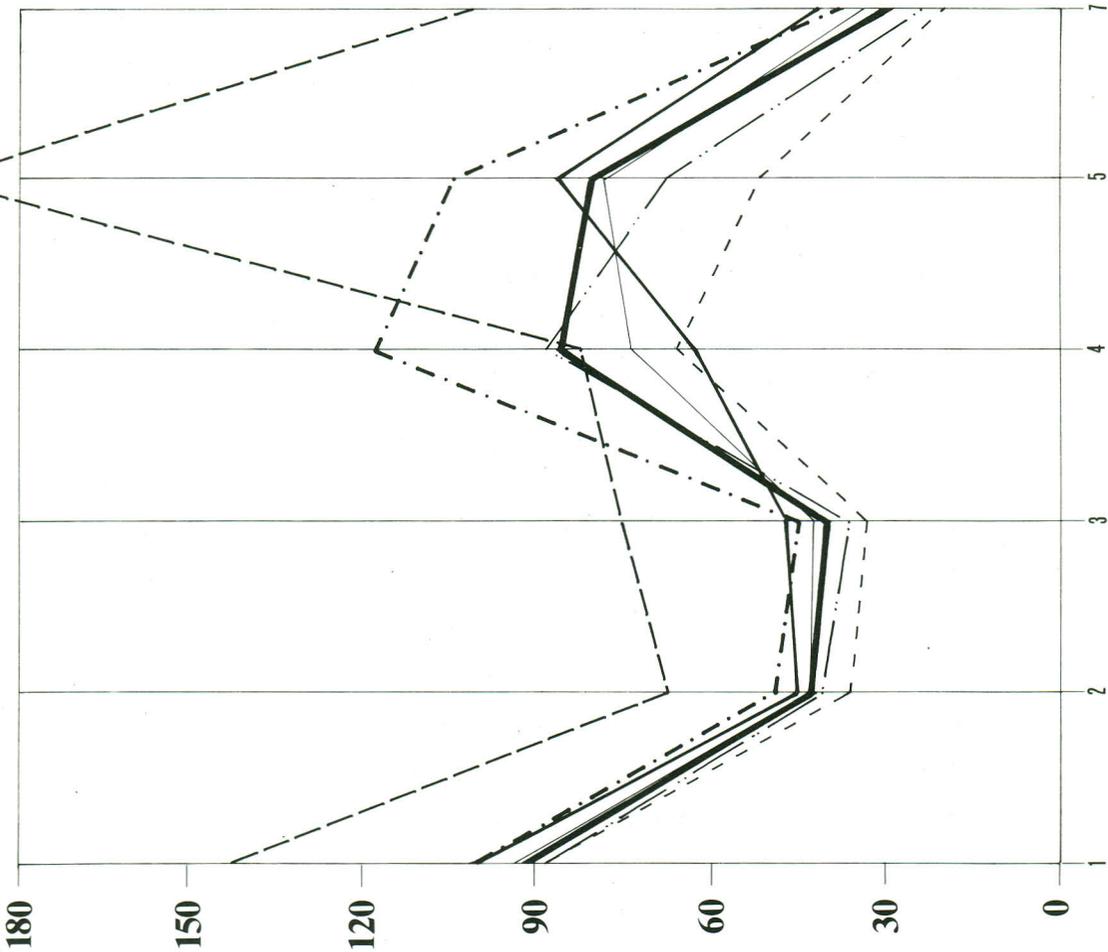
que la distinción entre la remolacha y el trigo no es tan clara. Sin duda la clasificación asistida en base a los índices de vegetación y brillo ha permitido la mejor clasificación de los naranjos en la Vega.

El análisis específico de la vegetación natural se ha centrado sobre el sector de Grazalema, elección motivada por una mayor variabilidad de especies presentes, el alto valor naturalístico de algunas de ellas (pinsapos) y por recoger parte del Parque Natural de la Sierra de Grazalema. El análisis espectral de la zona seleccionada nos ha permitido, a través del análisis radiométrico de 17 parcelas-test, la individualización de 7 curvas características (Fig. 4) que se corresponden en definitiva con 7 unidades paisajísticas presentes en la zona de estudio. El canal 4, el 5 y en menor medida el 3, son los mejor adaptados a los objetivos de nuestro trabajo. El análisis radiométrico previo ha constituido un excelente punto de partida para seleccionar las mejores combinaciones de bandas, evitando la redundancia de canales muy relacionados. De esta forma se han revelado como buenas la combinaciones 4-5-2 y -- 7-4-1. En la figura anterior se nos muestra el canal 5 como el mas adecuado para la delimitación de los pinsapos.

El análisis de las imágenes disponibles ha permitido, en primer lugar, separar de forma nítida las zonas ocupadas por las rocas desnudas de las ocupadas por la vegetación. Esta operación entraña mayores dificultades en las labores de fotointerpretación clásica, donde es difícil segregar dentro del "improductivo" las zonas que contienen pastos ralos y dispersos. Por otra parte, en casi todas las combinaciones de bandas utilizadas (3-5-4, 4-3-2 y 4-5-3) se efectua con facilidad la delimitación entre zonas de matorral, pudiéndose segregar incluso áreas con diferentes densidad de vegetación. En esta línea hemos podido individuali

Respuestas espectrales de parcelas piloto

VALOR RADIONOMETRICO
(0 - 255)



Tipo y clasificación del suelo

- Roca desnuda
- Encinas, pinos y matorral.
- Bosque de encinas, quejigos y matorral.
- Matorral.
- Pinsapos.
- . - . - Pastizal
- Matorral e improductivo.

zar el matorral de las praderas, operación especialmente dificultosa cuando este se situa en zonas de montaña y es de escaso porte debido a las limitaciones físico-naturales del medio. La elección de las combinaciones de bandas adecuadas tras el análisis radiométrico, nos ha permitido segregar la vegetación arbórea del resto (4-3-2 y 3-2-1) aunque no haya hecho posible el análisis detallado de los pequeños bosquetes o la identificación de árboles aislados. Esta dificultad queda compensada por la posibilidad de individualizar especies, operación que acrecienta su valor cuando éstas poseen un alto valor ecológico como ocurre en nuestro caso. La combinación 4-7-2 ha hecho posible delimitar con precisión las masas de pinsapos y pinos de Alepo, sin confundirlos con los bosque menos densos de encinas y quejigos. Un trabajo de detalle con el canal 5 ha permitido asimismo definir con bastante exactitud el espacio ocupado por los pinsapos, individualizando en él zonas con diferente densidad de ocupación.

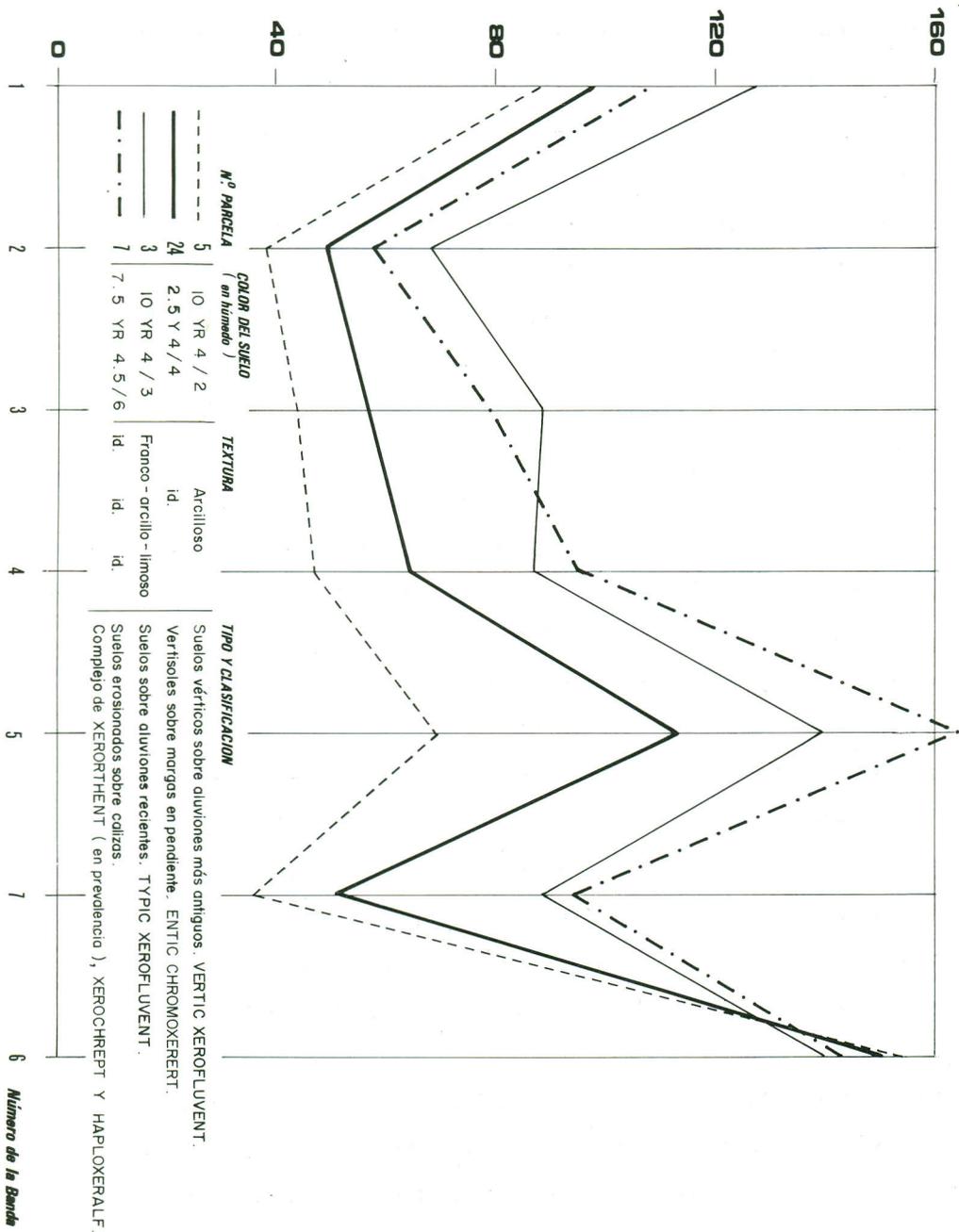
Los diferentes índices realizados no nos han permitido una buena clasificación de las diferentes unidades de vegetación, sin duda debido a la heterogeneidad del medio de montaña, sin embargo hemos podido obtener una muy buena clasificación hipercuba a partir de la primera componente del análisis de componentes principales de los canales 5, 7 y un índice de vegetación. Esta clasificación, junto con la combinación de bandas 4-5-2 con tratamiento especial en el filtro verde, nos ha permitido delimitar con bastante exactitud las diferentes unidades paisajísticas del Parque.

CONCLUSIONES.-

Los resultados de este trabajo, sinteticamente expuestos con anterioridad, nos han revelado la utilidad de las imágenes Landsat/TM para la realización de una cartografía temática a la escala de semidetalle. El nuevo sensor permite una eficaz actualización cartográfica con el empleo, de forma complementaria y no excluyente, de las técnicas de fotointerpretación convencionales, a la vez que posibilita trabajar con las nociones de textura y estructura. En este sentido, se han visto superados los niveles de información sobre coberturas vegetales que ofrece la fotointerpretación clásica, permitiendo además la identificación concreta de pequeñas transformaciones sobre el terreno, anteriormente difícilmente reconocibles (cortafuegos, carriles....).

La heterogeneidad de las respuestas espectrales pertenecientes al sector de Palma del Rio, ha facilitado la separación, con procedimientos visuales o digitales, de unidades y clases que pueden estar relacionadas con unidades taxonómicas de suelos. En este sentido, se han detectado cuatro tipos característicos de respuesta espectral (Fig. 5). El análisis espectral, la interpretación visual sobre diferentes combinaciones y las clasificaciones realizadas, han permitido distinguir dentro de un mismo conjunto de suelos (suelos aluviales, vérticos...) zonas de distinto drenaje y textura, no reconocibles en las fotografías pancromáticas. Sin embargo, donde existe una distribución compleja de suelos, ligados sobre todo a la morfología, la fotointerpretación se muestra netamente superior, en relación a la visión estereoscópico y a su mayor resolución espacial. A pesar de ello, el tratamiento y la clasificación de los datos pueden llevar a la obtención de productos gráficos de notable interés, sobre todo cuando el esquema de distribución de suelos es

FIG. 5 **Respuestas espectrales : CURVAS TÍPICAS** (PALMA DEL RIO)



sencillo y está ligado a pocos factores (p. e. las variaciones texturales en los suelos aluviales). En casos más complejos (complejidad litológica o morfológica) las clasificaciones realizadas no se han mostrado muy efectivas.

En el análisis de la vegetación y en la delimitación de unidades paisajísticas, las imágenes TM se han revelado como una excelente información complementaria del análisis tradicional sobre fotografía aérea. La fotointerpretación clásica permite detallar con precisión las formas de relieve, los arboles aislados, los olivos y, en general, los límites de un paisaje, pero no permite diferenciar entre especies forestales, entre una pradera y un matorral bajo o entre aquella y los campos de cultivo. Ante esto, la teledetección posibilita la distinción entre diferentes tipos de cultivos, especies vegetales o facilita una mejor segregación de las rocas desnudas, dentro de lo que suele interpretarse como "improductivo" en la cartografía de usos, permitiendo igualmente la delimitación de unidades de paisaje de una forma suficientemente detallada. Como resultado del trabajo se ha tomado conciencia de la importancia de disponer de una información sobre el ciclo vegetativo de los cultivos, para escoger las fechas más adecuadas para la identificación de cada tipo.

En determinados medios (zonas de montaña), la variabilidad en el contenido del pixel, explica las dificultades de obtener clasificaciones que sean el reflejo exacto de la realidad y parece ser más eficaz la fotointerpretación de una combinación de bandas, bien seleccionadas, que la utilización de clasificaciones que necesiten un importante tratamiento informático. Por último, reafirmar que las principales características del TM (visión sinóptica, multiespectralidad y repetitividad), siguen siendo válidas y enriquecedoras, aunque algunas de

ellas vea limitada su eficacia por la especificidad de los objetivos o las características físico-naturales de la zona de estudio.

(*) En la realización del Proyecto citado se han utilizado las imágenes TM correspondientes a las siguientes fechas: 15-VI-1984; 31-XII-1984 y 19-IV-1984.

(**) Para una adecuada comprensión de la metodología de trabajo seguida, hemos de realizar las siguientes precisiones:

- Tras un riguroso trabajo de campo y fotointerpretación se procedió, en las zonas de estudio a la delimitación de las unidades de suelos, vegetación y paisaje características. Sobre ellas se definieron las correspondientes parcelas-test que fueron sometidas al análisis radiométrico apropiado.
- Las combinaciones de bandas y falsos colores se han realizado, con carácter general, tras la redistribución lineal de las bandas elegidas, asignándole a cada una de ellas los colores **verde, rojo y azul** en el orden en que aparecen en el texto.
- Las clasificaciones más utilizadas han sido: **automáticas** (agregación en torno a centros móviles, a veces con preasistencia espectral) y **supervisadas** (clasificación hipercubica). Estas se han realizado sobre bandas individuales, sobre componentes principales o sobre índices de **vegetación** $\frac{C4-C3}{(C4 \times 2) - C5}$ y **brillo** $(C5 + C7) \frac{1}{2}$. $\frac{C4+C3}{C4+C3}$

BIBLIOGRAFIA.-

BAUMGARDNER, L., SILVA, L., BIEHL, L. and STONER, E. "Reflectance Properties of soils". Advances in Agronomy, vol. 38. 1985

CONDIT, H.R. "The spectral reflectance of American Soils". Photogramm. Eng., Vol 36. 1970

STONER, and BAUMGARDNER, M.F., WEISSMILLER, R.A., BIEHL, L.C. and ROBINSON, B.Y. "Extension of laboratory measured soil spectra to field conditions" Soil Sci. Soc. Am. J. vol. 45. 1980

WEISSMILLER, R. PERSINGER, I. and MONTGOMERY, O. "Soil inventory from digital analysis of satellite scanner and topographic data". Soil Sci. Am. Jour., vol 41. 1977.