

UTILIZACIÓN DE LA TELEDETECCIÓN EN EL ANÁLISIS DE LAS COMPONENTES DEL PAISAJE EN ÁREAS DE MONTAÑA: APLICACIÓN A LA SIERRA DE LÚJAR (PROVINCIA DE GRANADA)

M^a JOSÉ MARTOS FERNÁNDEZ*

I. Presentación y Objetivos

El presente trabajo tiene por objeto el análisis de las posibilidades de integración de la teledetección en el análisis geológico de un área montañosa: la Sierra de Lújar (Prov. Granada). Presentamos una cartografía de las grandes unidades ecogeográficas en la Sierra de Lújar obtenidas a partir del cruzamiento de datos multitemporales SPOT XS y datos exógenos. El área analizada se sitúa al Sur de Sierra Nevada, formando parte del arco montañoso penibético que bordea el litoral surmediterráneo español. Se trata de una montaña mediterránea muy compleja y frágil que presenta un relieve muy accidentado y abrupto, debido más que a la presencia generalizada de cotas muy altas, al gran desnivel producido entre las alturas máximas (1869 m. en Los Pelaos) y el nivel del mar, en tan sólo 10 ó 15 Kms.

La aplicación de técnicas de teledetección en zonas montañosas como la que nos ocupa, se ve dificultada por los efectos debidos al relieve, que modifican la respuesta radiométrica en función de la situación relativa de cada lugar. El resultado es que superficies cubiertas por un mismo tipo de vegetación o cultivo, aparecen con distinta respuesta espectral en función de su pendiente o exposición y, por el contrario, superficies cubiertas por diferentes cultivos pueden presentar la misma respuesta espectral debido a las condiciones del relieve. Este hecho nos ha inducido a la corrección radiométrica de la imagen a partir de un Modelo Numérico del Terreno. Todo ello con el fin de mejorar significativamente los procesos de identificación, clasificación y comparación multitemporal de las imágenes, y así poder obtener una clasificación de la variable paisajística de los usos del suelo lo más fiable posible.

* Profesora Ayudante. Universidad de Jaén.

II. Fuentes

Para la realización de este estudio se han utilizado dos imágenes multispectrales del satélite SPOT 1, de fechas diferentes, con el fin de poder abordar un cierto estudio multitemporal. En concreto se han adquirido las escenas K37-J276 de fecha 15 de junio de 1987 y del 21 de octubre de 1988, en modo XS multispectral (3 canales, XS1, XS2 y XS3), con una resolución espacial de 20 metros y un nivel de corrección 1B. Las escenas cubren un área de 60 por 60 km, situándose el centro de las mismas en las coordenadas de latitud 36° 51' 28" N y longitud 3° 21' 09" W en la imagen de junio, y 36° 51' 27" N y 3° 22' 41" W en la imagen de octubre. Las imágenes han sido adquiridas bajo forma numérica (bandas CCT) y como productos fotográficos, en concreto reproducciones sobre papel de las diapositivas de origen de la imagen, tanto a escala 1:400.000 como a escala 1:50.000. La película original proviene de un aparato de restitución a láser (VIZIR COLOR) de alta resolución. A partir de las bandas hemos extraído una ventana de trabajo de 512 líneas y 788 columnas en las dos imágenes. La localización de la ventana viene determinada por su representatividad en el conjunto de la región.

Con el fin de ayudar a la interpretación de las imágenes y de orientar los tratamientos, varios documentos han sido utilizados como instrumentos de apoyo: fotografías aéreas verticales del Instituto Geográfico Nacional a escala 1:18.000 y fecha 1985-86, cartografía topográfica y temática disponible sobre el área de estudio, fotografías oblicuas, inventarios florísticos y observaciones efectuadas sobre el terreno.

III. Metodología y Resultados

3.1. *Rectificación de las Imágenes XS*

Como hemos dicho, nuestro ámbito de estudio presenta un problema común a todas las áreas de montaña: la variación de la respuesta radiométrica en función del relieve. En efecto, la presencia de sombras ligadas al relieve (pendientes, exposiciones diversas...) es un factor importante en la imagen de octubre porque la inclinación de los rayos solares a esta latitud es fuerte. La imagen de junio, aunque también afectada, lo es en menor medida. Esta presencia de sombras supone un handicap para la identificación de las características del terreno y la discriminación de las principales unidades del paisaje. De hecho, podemos afirmar que en regiones accidentadas como la analizada en este caso, los tratamientos numéricos de los datos satelitarios sólo son posibles después de una corrección radiométrica que tenga en cuenta la topografía.

3.1.1. Creación del Modelo Numérico del Terreno (MNT)

La rectificación radiométrica de las imágenes implicaba necesariamente el contar con datos topográficos bajo la forma de un Modelo Numérico del Terreno. La creación del mismo ha sido efectuada con la ayuda del Sistema de Información Geográfica Arc-Info y a partir del mapa topográfico del I.G.N. a escala 1:25.000. Han sido digitalizadas las curvas de nivel maestras (50 m.) permitiéndonos obtener así una cobertura de arcos. Igualmente se han digitalizado 340 puntos correspondientes a las cimas y pequeñas mesetas, obteniendo una cobertura de puntos. Los arcos y los puntos son numerados en función de la altitud y constituyen los ficheros de base para la creación del MNT. A continuación, y mediante ARC-INFO, se han interpolado las altitudes y se ha procedido a la creación de la imagen en formato ráster. La complementariedad del SIG ARC-INFO con el programa de tratamiento de imágenes ERDAS nos ha permitido la obtención de la imagen resultante en modo ráster y codificada en 16 bits. Una posterior transformación convierte la imagen en 8 bits, para poder ser tratada con programas que no acepten otras codificaciones, como es el caso de DIDACTIM o MULTISCOPE.

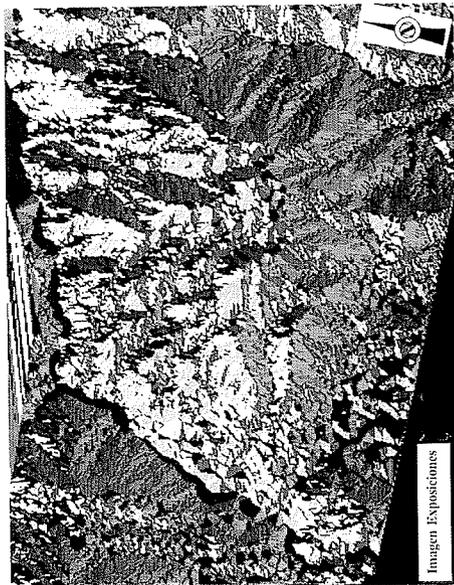
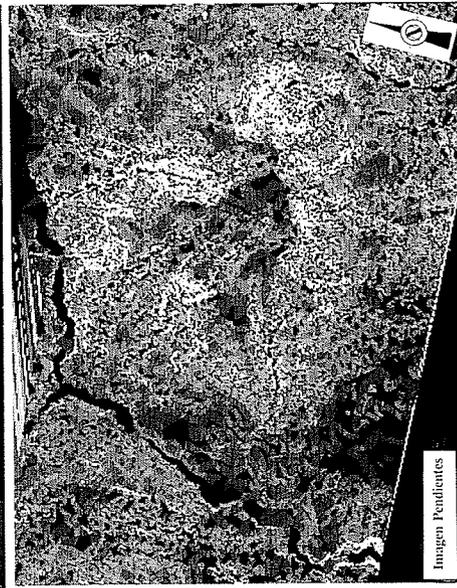
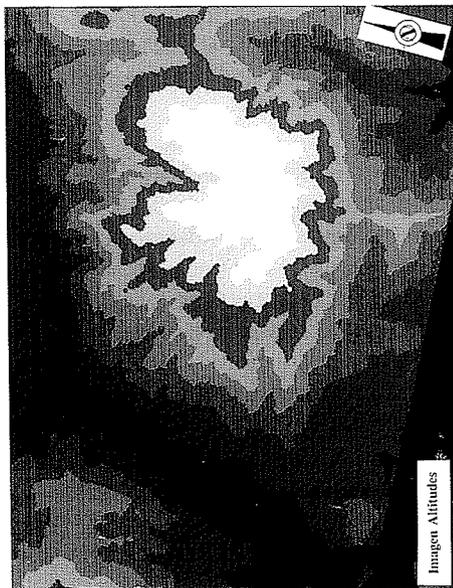
La dimensión de la imagen resultante es de 822 líneas y 880 columnas. El fichero codificado en 16 bits representa una altitud real digitalizada de 100 a 1869 m. El valor de los píxeles en los lugares donde el MNT no está definido es de -9999. El fichero codificado en 8 bits presenta una altitud lineal con valores comprendidos en los niveles de gris, de 1 a 255. En este último caso, es 0 el valor de los píxeles allí donde el MNT no está definido.

A partir de la imagen de altitudes, se han obtenido, en 16 bits, las imágenes derivadas de primer grado: pendientes y exposiciones, que han sido igualmente recodificadas en 8 bits. La imagen de pendientes contiene valores de 0 a 90 (correspondientes a una cuantificación en grados) en los dos tipos de codificación. La imagen de orientaciones contiene valores de 0 a 355 codificada en 16 bits (todas las orientaciones en grados), y de 0 a 255 en 8 bits, tras una repartición de tipo lineal en niveles de gris. La imagen nº 1 muestra el Modelo Numérico del Terreno, con altitudes, pendientes y exposiciones.

3.1.2. Correcciones geométricas

Tras la obtención del MNT, ha sido necesario corregir geoméricamente las dos imágenes XS en función del mismo y en relación con el mapa topográfico. En efecto, las dos imágenes XS brutas tienen un nivel de corrección IB: se pueden superponer una a otra, pero no a un mapa; si bien presentan una corrección radiométrica y

**Imagen n^o 1:
Modelo Numérico del Terreno e
imágenes derivadas**



geométrica, ésta no es de tipo bidimensional. Por ello, y con el fin de obtener una mayor precisión cartográfica, ha sido necesario corregir las imágenes geométricamente, transformándolas en imágenes de nivel 2.

Después de haber digitalizado sobre el mapa topográfico los puntos de referencia, se ha aplicado a las imágenes una corrección geométrica utilizando una ecuación de ajuste de grado 1, según el cálculo de la ley de transformación polinomial. Posteriormente, para calcular las respuestas radiométricas de los píxeles de la imagen resultante, se ha elegido el modelo de convolución cúbica puesto que este modelo procura conservar la radiometría de la imagen original.

La dificultad de identificar los puntos de control característicos sobre las imágenes y sus homólogos sobre el mapa topográfico se debe al fuerte relieve de la zona y a los efectos de sombra. Sin embargo, gracias al débil grado de inclinación, casi vertical (la imagen de octubre presenta una incidencia de $R2^{\circ}4$ y la de junio de $R2^{\circ}2$), la corrección ha podido llevarse a cabo con resultados satisfactorios. El resultado es una imagen corregida en relación a un mapa, con las dimensiones del MNT (822 líneas y 880 columnas), lo que permite su superposición.

3.1.3. Correcciones radiométricas

Los efectos de las sombras ocasionadas por el relieve, sobre las imágenes satelitarias, han podido corregirse tras la aplicación de un modelo de corrección radiométrica de los efectos topográficos desarrollado por YANG, Ch.J. (1990).¹

Los efectos topográficos sobre las imágenes satelitarias, pueden ser uno o varios, dependiendo del estado de la atmósfera, encontrándose entre ellos las sombras, el ángulo de incidencia del sol, la altitud, la iluminación difusa, las variaciones medioambientales y el efecto de la reflectividad bidireccional. La corrección radiométrica aplicada sobre nuestras imágenes ha estado conducida por la necesidad de poner todos los datos en las mismas condiciones de iluminación, utilizando para ello el modelo de corrección de los efectos de sombras, del ángulo de incidencia del sol y de la iluminación difusa.

La corrección ha sido efectuada sobre las imágenes de junio y de octubre de manera independiente, es decir, no se han igualado las condiciones de iluminación de

1. YANG, Ch. J. (1990), *Corrections radiométriques des effets topographiques sur les images satellitaires*. Tesis Doctoral. Université de Paul Sabatier de Toulouse. Laboratoire Commun de Télédétection CEMAGREF/ENGRE, Montpellier.

una fecha con respecto a la otra. La mejora de las calidad radiométrica de las imágenes, especialmente la de octubre, es claramente visible: las zonas de sombra con respuesta radiométrica débil han disminuido considerablemente. (Imagen n^o 2).

3.2. Interpretación visual, realce de las imágenes y estratificación ecológica regional

Una primera aproximación analógica ha sido llevada a cabo a partir de las reproducciones fotográficas a escala 1:400.000 y sobre todo a partir de la ampliación a escala 1:50.000 de las escenas SPOT (en el caso concreto de la zona de estudio). El producto sobre papel ha sido tratado por contacto en síntesis aditiva de colores por SPOT IMAGE. Se trata de una composición en pseudo-color clásica a partir de los datos numéricos de los canales XS1 (azul), XS2 (verde) y XS3 (rojo), a los que se ha aplicado una adaptación de la dinámica, automática o lineal, consiguiendo así una imagen más contrastada.

Se han utilizado diversos métodos (Composición coloreada I.R.C., Análisis en Componentes Principales (A.C.P.), Índice de Vegetación (I.V.), Intensidad, Tono, Saturación (I.T.S.), con el fin de realzar y mejorar las características de las imágenes de la zona de estudio y proponer así una estratificación de la misma en unidades ecológicas. El análisis y la interpretación visual de dichos neo-canales nos ha permitido elaborar el *Mapa de Estratificación de Unidades ecológicas* que presentamos en la figura 1.

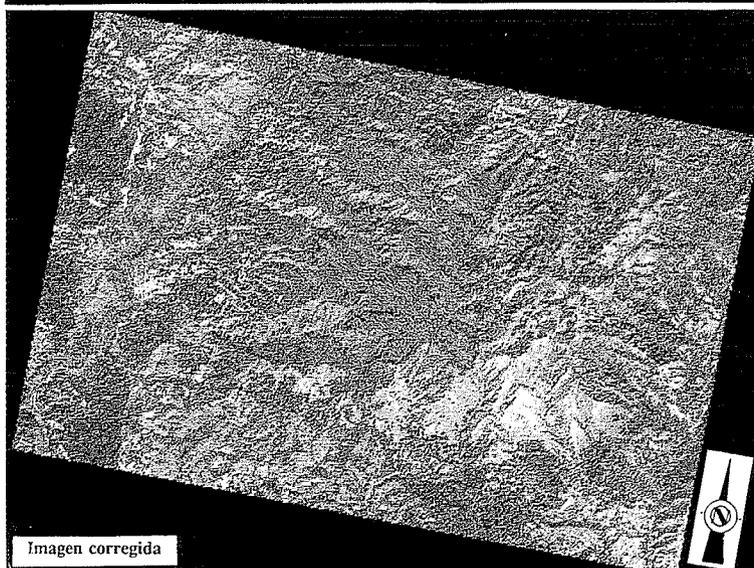
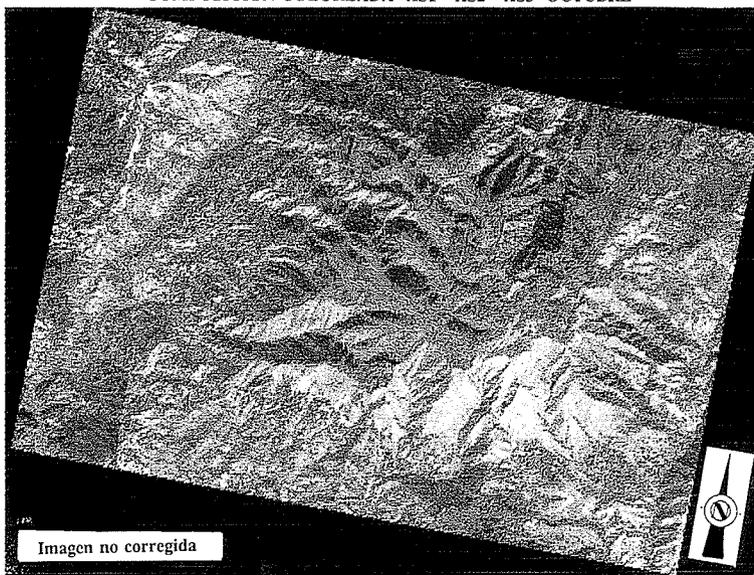
La fotointerpretación ha sido realizada con el objetivo de identificar las características del terreno y delimitar y cartografiar las principales unidades del paisaje. Los criterios de identificación de las unidades son de naturaleza física (geología y pedología principalmente) y biológica (vegetación). El reconocimiento ha sido llevado a cabo a partir de los descriptores siguientes: color, forma, textura y estructura de estas unidades.

A continuación pasamos a comentar brevemente las unidades diferenciadas:

- *Unidad 1.* Esta unidad representa el corazón de la Sierra de Lújar. Está desarrollada sobre materiales calizos y dolomíticos del Manto de Lújar. Los tipos de suelo son litosoles y regosoles litosólicos con inclusiones de cambisoles cálcicos. La vegetación, se encuentra caracterizada por la especie típica del bosque mediterráneo: la encina (*Quercus rotundifolia*), en estado de degradación.
- *Unidad 2.* Esta unidad, desarrollada sobre el mismo tipo de materiales que la unidad anterior, cubre las zonas más abruptas y erosionadas de la Sierra. Los suelos dominantes son los litosoles. La vegetación está formada por el matorral típico mediterráneo.

Imagen nº 2:

COMPOSICION COLOREADA XS1 - XS2 - XS3 OCTUBRE



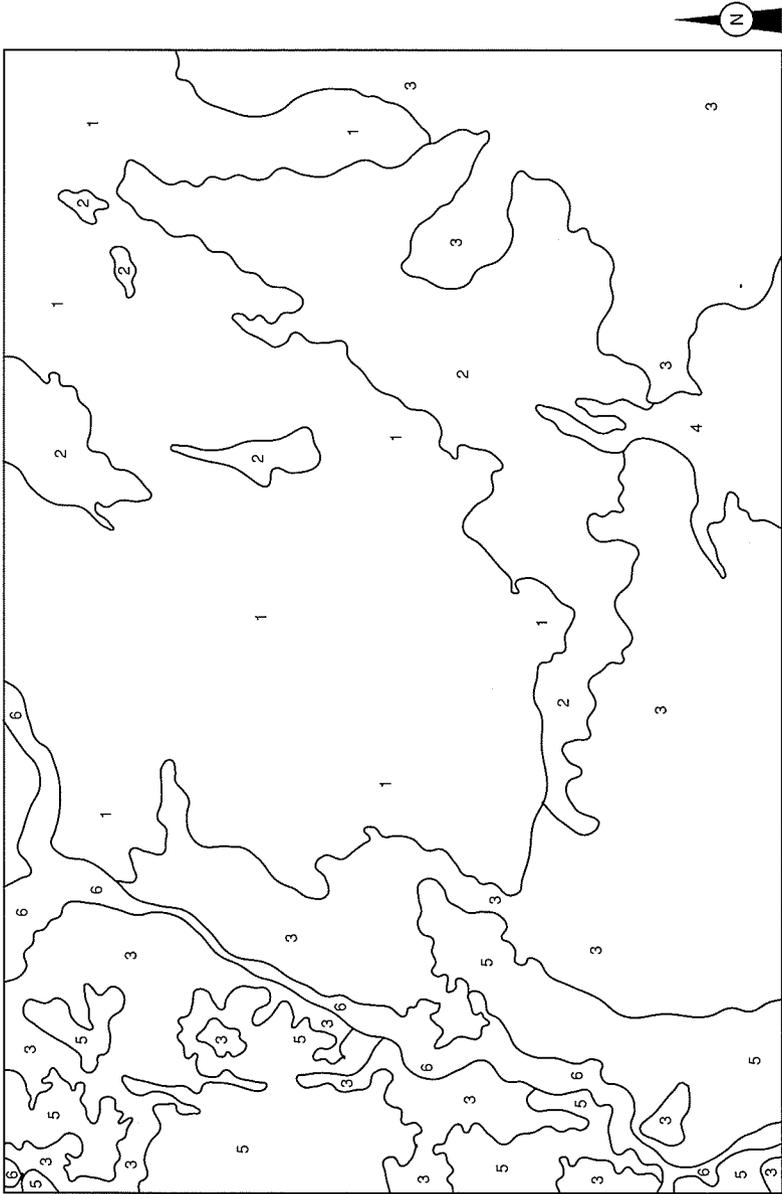


Figura n^o 1.
El mapa de estratificación de unidades ecológicas

- *Unidad 3.* Esta unidad se extiende al Este, al Sur y al Oeste de la imagen, alrededor de los núcleos urbanos. Se desarrolla sobre materiales del Manto de Alcázar, compuesto de filitas y cuarcitas con calcoesquistos, cubiertos de regosoles calcáricos y eútricos, cambisoles eútricos y luvisoles crómicos. La utilización del suelo es variada: cultivos de secano, parcelas abandonadas, suelo desnudo y espacios urbanos.
- *Unidad 4.* Se extiende al Sur del núcleo urbano de Lújar, ocupando concretamente el Cerro de la Campana Ariza. Los materiales sobre los cuales se asienta corresponden al Manto de Murtas, tratándose de esquistos y cuarcitas. La vegetación de esta zona es la que goza de un mejor estado de conservación dentro de la Sierra, caracterizándose por la presencia de un alcornocal mezclado con pinos, sobre luvisoles crómicos.
- *Unidad 5.* Esta unidad se localiza en el sector oeste de la imagen, sobre rocas carbonatadas y fuertemente consolidadas (mármoles calizo-dolomíticos), con suelos de tipo litosoles y regosoles litosólicos. En estas zonas sometidas a una fuerte erosión, se han llevado a cabo repoblaciones en terrazas a base de *Pinus halepensis* y *Pinus pinaster*.
- *Unidad 6.* Esta unidad, desarrollada sobre fluvisoles, se localiza a ambos márgenes del río Guadalfeo. Corresponde a una zona de vega, que cuenta con la presencia de cultivos tradicionales de huerta, intensivos, de gran variedad y riqueza.

3.3. Análisis de las respuestas radiométricas y clasificaciones

Se ha procedido al análisis del comportamiento espectral de las diferentes unidades ecológicas a partir de un corpus de respuestas radiométricas establecido sobre las parcelas representativas de las unidades ecológicas. Estas parcelas guiarán algunas clasificaciones supervisadas, de las cuales sólo una será presentada y brevemente comentada. Sin embargo, antes de proceder al análisis radiométrico de las parcelas, una primera base de comparación nos la proporcionará el resultado de una clasificación no supervisada, presentada más abajo.

3.3.1. Clasificación automática

Esta clasificación ha sido realizada con el objetivo de una primera aproximación al conocimiento del medio natural a partir de la respuesta radiométrica de las diferentes unidades. Ha sido realizada con el programa de tratamiento de imágenes ERDAS. Se trata de una clasificación no supervisada de tipo no jerárquico y basada en el método

de las nubes dinámicas. En este proceso se parte de la idea de que los individuos, o píxeles, se reparten en el espacio espectral siguiendo ciertas concentraciones que definen medios homogéneos, o núcleos, correspondientes cada uno a una parte de la entidad natural (tema).

Al comenzar hemos fijado un cierto número de núcleos o centros de gravedad de las futuras clases. Este número es en general superior al de las clases deseadas. A continuación, los píxeles son clasificados por el ordenador siguiendo criterios de homogeneidad de los valores radiométricos tomados en las diferentes bandas espectrales. Se trata por tanto de determinar un cierto número de clases, de tal manera que los individuos de una clase se aproximen y los individuos de clases diferentes se aproximen los menos posible.

Hemos realizado la clasificación automática dos veces. La primera vez, se ha aplicado a las imágenes brutas de las dos fechas. En este documento, varias clases pertenecen exclusivamente a las zonas de sombras. Tras haber corregido las imágenes geométrica y radiométricamente, se ha realizado una nueva clasificación, que nos proporciona una primera segmentación regional en la cual nos hemos inspirado para la elección de las parcelas de aprendizaje y la clasificación supervisada.

3.3.2. Fase de selección de parcelas de aprendizaje y análisis de respuestas radiométricas

El objetivo de esta fase de entrenamiento es doble: por una parte, el estudio de las respuestas espectrales de las parcelas de aprendizaje representativas, y por otra, servir como base para la realización de clasificaciones supervisadas.

El aprendizaje ha sido realizado sobre 6 canales (XS1, XS2 y XS3 de junio y de octubre).

3.3.2.1. Elección y delimitación de las parcelas de aprendizaje

Esta fase ha estado guiada por las fotografías aéreas, verticales y oblicuas, y por los datos obtenidos del terreno.

3.3.2.2. Selección de clases

La elección de las clases iniciales ha sido el resultado de la interpretación visual sobre los documentos ya citados, y de nuestro propio conocimiento del terreno.

3.3.2.3. Cálculo y análisis de los parámetros estadísticos

Hemos realizado el cálculo de los parámetros estadísticos en los 6 canales brutos (XS1, XS2 y XS3 de junio y de octubre), y a continuación el análisis de dichos parámetros se ha llevado a cabo a partir del estudio del histograma bidimensional XS2/XS3 y de las curvas de las firmas espectrales. (Figuras nº 2 y nº 3)

3.3.2.4. Validación

Las clases definitivas son el resultado de una validación intra-clase e inter-clases. La validación en el interior de la clase, ha sido realizada estudiando la homogeneidad intra-parcela y la homogeneidad inter-parcela; de este proceso ha resultado la modificación o bien la supresión de parcelas. La validación entre clases, ha sido llevada a cabo a partir del estudio de las estadísticas y de la matriz de confusión en pre-clasificación. La lista de clases definitivas es la siguiente:

- | | |
|-----------------------------|---------------------------|
| 1. Encinar | 5. Cultivos de secano |
| 2. Alcornocal + repoblación | 6. Cultivos de regadío |
| 3. Formaciones arbustivas | 7. Suelo desnudo y urbano |
| 4. Matorrales | 8. Agua / Lecho fluvial |

La tabla que mostramos más abajo representa la matriz de confusión para los canales XS1, XS2 y XS3 de Junio.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0.0	90.3	5.0	0.6	3.8	0.1	0.2	0.0	0.0
2	0.0	1.4	90.0	8.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	0.2	0.5	6.7	92.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
4	0.5	0.1	0.0	0.0	90.3	9.0	0.0	0.0	0.1
5	1.7	0.0	0.0	0.0	12.6	85.7	0.0	0.0	0.0
6	0.0	3.3	0.0	0.0	0.0	0.0	96.7	0.0	0.0
7	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	96.7	1.5
8	1.0	0.0	0.0	0.0	5.7	0.0	0.0	6.2	87.0

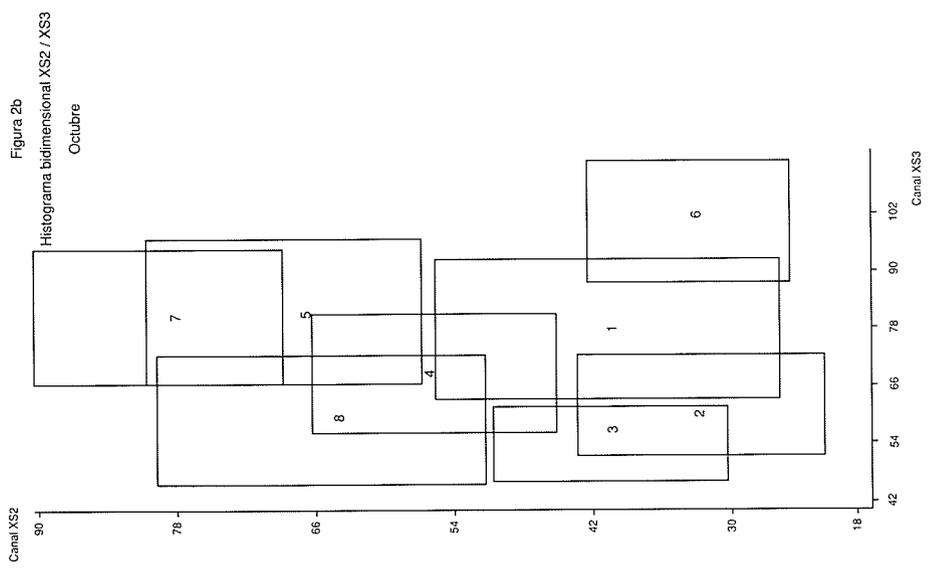
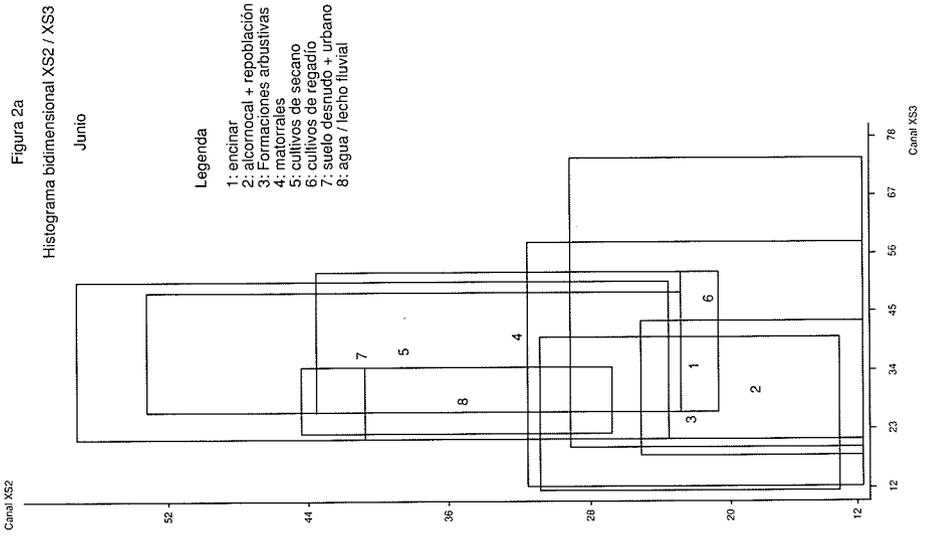


Figura 3a
Curvas de respuestas espectrales en los canales XS1 - XS2 - XS3

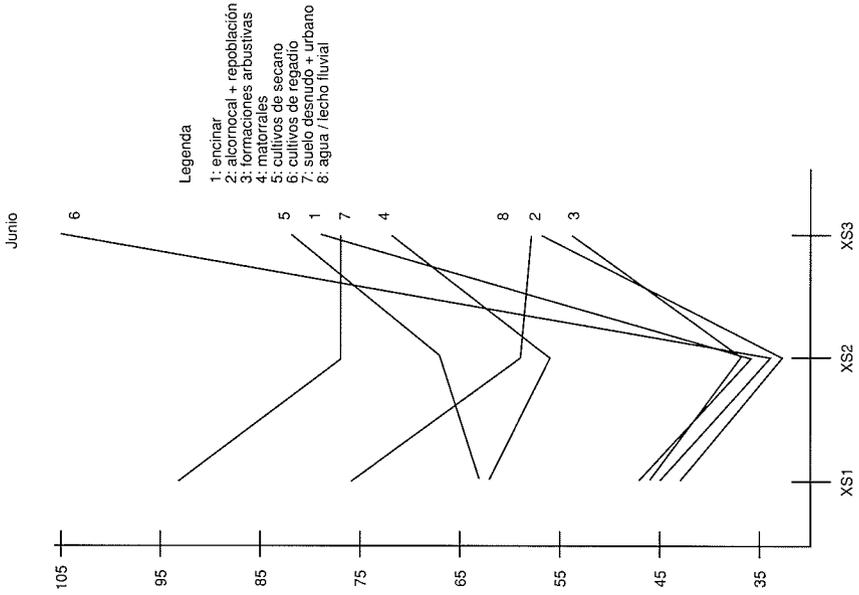
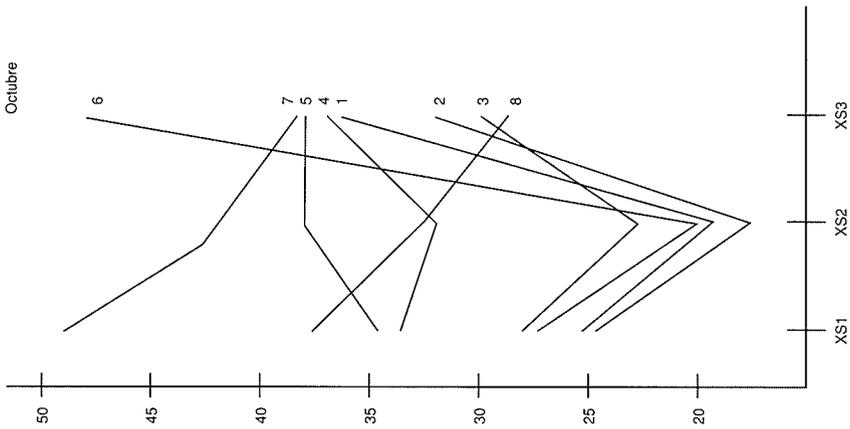


Figura 3b
Curvas de respuestas espectrales en los canales XS1 - XS2 - XS3



La tabla aquí debajo representa la matriz de confusión para los canales XS1, XS2 y XS3 de Octubre.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0.1	43.5	23.9	15.2	2.7	0.0	14.6	0.0	0.0
2	0.0	19.2	76.7	2.8	0.0	0.0	1.3	0.0	0.0
3	0.0	2.4	13.2	80.6	3.0	0.0	0.9	0.0	0.0
4	0.0	1.2	0.1	13.5	53.6	30.6	0.0	0.5	0.5
5	0.0	0.3	0.0	8.0	32.0	41.0	0.0	18.4	0.3
6	0.0	1.1	0.0	8.8	4.4	0.0	71.4	0.0	14.3
7	0.0	0.0	0.0	1.5	0.4	3.3	0.0	76.8	18.1
8	0.0	0.0	0.0	1.0	1.6	0.5	0.0	2.6	94.3

Los resultados de estas matrices nos conducen a algunas observaciones:

a) Matriz de confusión efectuada con los canales XS1, XS2 y XS3 de Junio:

Esta matriz indica una muy buena discriminación de todas las clases. Efectivamente, ésta nos muestra los siguientes resultados:

	% bien clasificado
Clase 1. Encinar	90,3%
Clase 2. Alcornocal + repoblación	90,0%
Clase 3. Formaciones arbustivas	92,4%
Clase 4. Matorrales	90,3%
Clase 5. Cultivos de secano	85,7%
Clase 6. Cultivos de regadío	96,7%
Clase 7. Suelo desnudo + Urbano	96,7%
Clase 8. Agua / Lecho fluvial	87,0%

A pesar de los buenos resultados de conjunto, se pueden observar ligeras confusiones:

- entre las clases 4 (matorrales) y 5 (cultivos de secano)
- entre las clases 2 (alcornocal + repoblación) y 3 (formaciones arbustivas)

Encontramos estas confusiones totalmente lógicas, debidas a la gradación dinámica que presenta la vegetación mediterránea. Estas confusiones provienen, por tanto, de las características propias del medio.

b) Matriz de confusión efectuada a partir de los canales XS1, XS2 y XS3 de Octubre: Esta matriz presenta:

	% bien clasificado
Clase 1. Encinar	43,5%
Clase 2. Alcornocal + repoblación	76,7%
Clase 3. Formaciones arbustivas	80,6%
Clase 4. Matorrales	53,6%
Clase 5. Cultivos de secano	41,0%
Clase 6. Cultivos de regadío	71,4%
Clase 7. Suelo desnudo + Urbano	76,8%
Clase 8. Agua / Lecho fluvial	94,3%

Los resultados indican una buena discriminación de las clases 2 (alcornocal + repoblación), 3 (formaciones arbustivas), 6 (cultivos de regadío), 7 (suelo desnudo + urbano) y 8 (agua / lecho fluvial), con respectivamente 76,7%, 80,6%, 71,4%, 76,8% y 94,3% de píxeles bien clasificados. Por el contrario se observa una ligera confusión entre las clases: 1 (encinar), confundida con la clase 6 (cultivos de regadío) y 4 (matorrales) confundida con la clase 5 (cultivos de secano). Así la imagen de junio, tomada en el período de plena actividad cloroflica del ciclo de vegetación, nos permite distinguir muy netamente los cultivos de regadío contrariamente a la imagen de octubre, en la que tienden a confundirse con el encinar. En la clase 8 (Agua, lechos fluviales) esta matriz clasifica claramente mejor que la otra que precisamente adolecía mayormente en ésta.

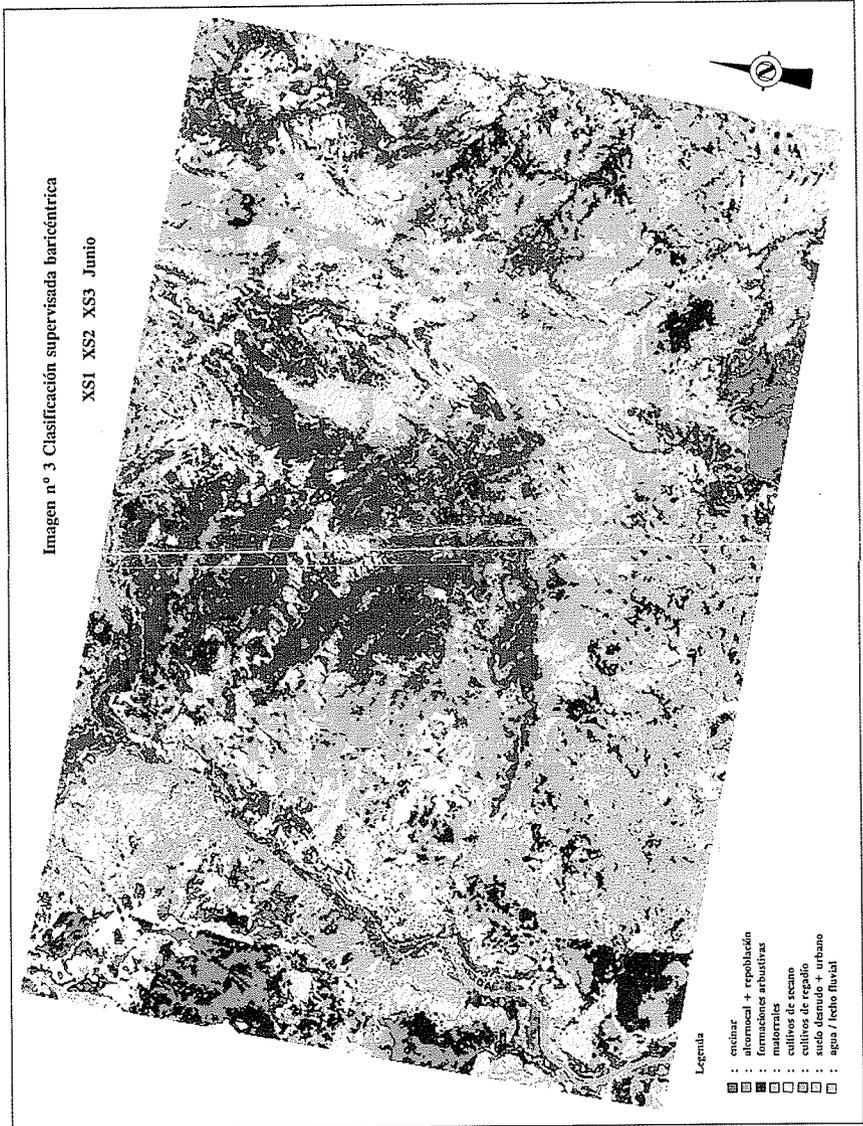
Tras la realización de varias combinaciones de canales, presentamos una clasificación eligiendo los canales XS1, XS2 y XS3 de la imagen de Junio a partir del aprendizaje realizado en un primer momento sobre los 6 canales (XS1, XS2 y XS3 de las dos fechas).

3.3.3. Clasificación supervisada

3.3.3.1. Método

Una clasificación de tipo baricéntrico ha sido aplicada a la imagen. Este método supone que un píxel pertenece a una clase si la distancia euclidiana entre el píxel y el baricentro de esta clase es inferior al radio de la hipersfera de la clase. Si el píxel puede pertenecer a varias, se le hace corresponder a la clase más próxima. El resultado

es una imagen clasificada y después mejorada a partir de diversas funciones como la eliminación de puntos dispersos (Imagen n^o 3).



3.3.3.2. Control de la clasificación, evaluación e interpretación de resultados

El siguiente cuadro muestra en cifras los resultados de la clasificación. El porcentaje de píxeles no clasificados (34,22%) incluye los píxeles de valor 0 que rodean la imagen (29,99%).

CLASE	NOMBRE	EFFECTIVO	SUPERFICIE	OCUPACIÓN
0	No clasificados	198778	7951.1 ha	34.22%
1	Encinar	75546	3021.8 ha	13.01%
2	Alcornocal + repoblación	12148	485.9 ha	2.09%
3	Formaciones arbustivas	32194	1287.8 ha	5.54%
4	Matorrales	147795	5911.8 ha	25.45%
5	Cultivos de secano	82852	3314.1 ha	14.27%
6	Cultivos de regadío	2805	112.2 ha	0.48%
7	Suelo desnudo + urbano	18533	741.3 ha	3.19%
8	Agua/Iecho fluvial	10643	425.7 ha	1.83%
		580800	23232.0ha	100.00%

Visualmente la imagen clasificada es satisfactoria, teniendo en cuenta los límites de un método de clasificación píxel por píxel, y no por parcelas. Podemos afirmar que las unidades elegidas en esta clasificación se encuentran bien diferenciadas.

La nomenclatura final comprende 8 clases que ocupan una superficie respectiva de:

0. No clasificados: 6,28%
2. Encinar: 18,57%
3. Alcornocal + repoblación: 3,07%
4. Matorrales: 35,77%
5. Cultivos de secano: 20,37%
6. Cultivos de regadío: 0,73%
7. Suelo desnudo + urbano: 4,61%
8. Agua / lecho fluvial: 2,61%

IV. Conclusión

Según exponíamos al principio el objetivo de este trabajo era evaluar las posibilidades de integración de las técnicas de Teledetección en un análisis de las unidades de paisaje en áreas de montaña. Creemos haber alcanzado dicho objetivo dado el nivel

satisfactorio de los resultados, siempre que la base de la investigación paisajística sea cartografiar previamente la ocupación del suelo con el fin de realizar una zonificación o segmentación cartográfica de las grandes unidades naturales presentes en un territorio de los caracteres de la Sierra de Lújar.

El estudio llevado a cabo nos ha revelado que la estratificación del espacio en grandes conjuntos ecológicos puede realizarse tanto mediante análisis visual como por tratamiento numérico. Pero es el cruzamiento y complementariedad de ambos métodos lo que nos ha permitido obtener los mejores resultados cartográficos y estadísticos.

Es de destacar la corrección radiométrica aplicada a las imágenes a partir del Modelo Numérico del Terreno (MNT), al permitirnos ésta realizar una identificación y delimitación fiable de unidades de ocupación de usos del suelo, una vez eliminada la presencia de sombras. Por otra parte, el hecho de disponer de dos imágenes de fechas diferentes, nos ha permitido llevar a cabo una comparación multitemporal seguida de un análisis fenológico de ciertos cultivos presentes en el área de estudio que serán publicados detalladamente con posterioridad. Por otra parte, algunas observaciones interesantes referentes a la evolución de la vegetación de la zona desde 1985 (fecha de las fotografías aéreas verticales, con las que contábamos entonces), hasta 1987-88 (fechas de las imágenes SPOT) han podido realizarse también, lo que permitirá esbozar un primer balance de los sectores más frágiles dentro del área de estudio.

La explotación en mayor profundidad de otros datos, tales como el MNT y sus imágenes derivadas podrá realizarse más adelante, revalorizando las informaciones topográficas e hidrográficas, de vital importancia en áreas montañas. La puesta en marcha de un Sistema de Información Geográfica propio a la Sierra de Lújar, podrá contribuir a potenciar en gran medida este análisis.

Finalmente, en la utilización de las imágenes de satélite para los estudios de paisaje la propiedad más favorable es la de integrar hechos múltiples en una vista sintética, aunque en la propia naturaleza de la imagen (las respuestas espectrales) está su limitación. En cualquier caso, la idoneidad de la teledetección espacial como arma tecnológica para la aproximación geográfica del paisaje queda fuera de toda duda, aunque esto no excluye la utilización de otras fuentes y técnicas más tradicionales, sino por el contrario, su confluencia y complementariedad.²

2. Por razones de espacio, sólo incluimos las imágenes resultantes que hemos considerado más significativas.

Bibliografía

- ALDAYA, F., MARTÍNEZ-GARCÍA, E., AVIDAD, J., GARCÍA-DUEÑAS, V., NAVARRO-VILA, F., GALLEGOS, J., DÍAZ DE FEDERICO, A. y PUGA, E. (1979 b), Hoja de Lanjarón, 1042 (20-43). Mapa Geológico de España 1:50000 (2ª Serie), I.G.M.E.
- ALDAYA, F. (1981), Hoja de Albuñol, 1056 (20-44). Mapa Geológico de España 1:50000. (2ª Serie), I.G.M.E.
- AVIDAD, J. y GARCÍA DUEÑAS, V. (1981), Hoja de Motril, 1055, (19-44). Mapa Geológico de España 1:50000, (2ª Serie), I.G.M.E.
- FLOUZAT, G. (1987), Inventaires cartographiques par Télédétection. MARI 87. COGNITIVA 87 / ELECTRONIC IMAGE ELECTRONIQUE. Paris.
- FLOUZAT, G. (1982), Cartographie automatique des unités écologiques du Parc National des Cévennes par Télédétection Spatiale. Centre d'Etudes Spatiale des Rayonnements. Toulouse.
- GIRARD, M.C., y GIRARD, C.M. (1989), Télédétection appliquée. Zones tempérées et intertropicales. Collection Sciences Agronomiques. Masson. Paris.
- GROS, G. (1983), Contribution au traitement automatique des données du terrain naturel, de la géologie et du paysage. Thèse de Docteur-Ingénieur. Université de Bordeaux I.
- KING, C. (1985), Etude des sols et des formations par Télédétection. Approche de leurs caractéristiques spectrales, spatiales et temporelles dans le visible et le proche infrarouge. Document du B.R.G.M. Thèse. Paris Grignon.
- MEGZARI, O. (1984), Utilisation des Modèles Numériques du Terrain en Télédétection. Thèse. Université Paul Sabatier. Toulouse.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN, (1986), Proyecto LUCDEME. Mapa de Suelos. Escala 1:100.000. Motril-1055. ICONA. Universidad de Granada, Departamento de Edafología.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN, (1987), Proyecto LUCDEME. Mapa de Suelos Escala 1:100.000. Albuñol-1056. ICONA. C.S.I.C. Granada.
- PROY, C. (1986), Intégration du relief au traitement d'images de Télédétection. Thèse de Docteur-Ingénieur. Institut National Polytechnique de Toulouse.
- RODRÍGUEZ MARTÍNEZ, F. (1985), Granada. Medio físico y desarrollo. Instituto de Desarrollo Regional. Universidad de Granada.
- YANG, C. J. (1990), Corrections radiométriques des effets topographiques sur les images satellitaires. Thèse. Université Paul Sabatier de Toulouse. Laboratoire Commun de Télédétection CEMAGREF/ENGREF, Montpellier.