

Análisis de los usos del suelo en la depresión de Antequera mediante la utilización del TM

E. García⁽¹⁾, Roy P. Bradshaw⁽²⁾ y M.C. Ocaña⁽¹⁾

(1) Universidad de Málaga

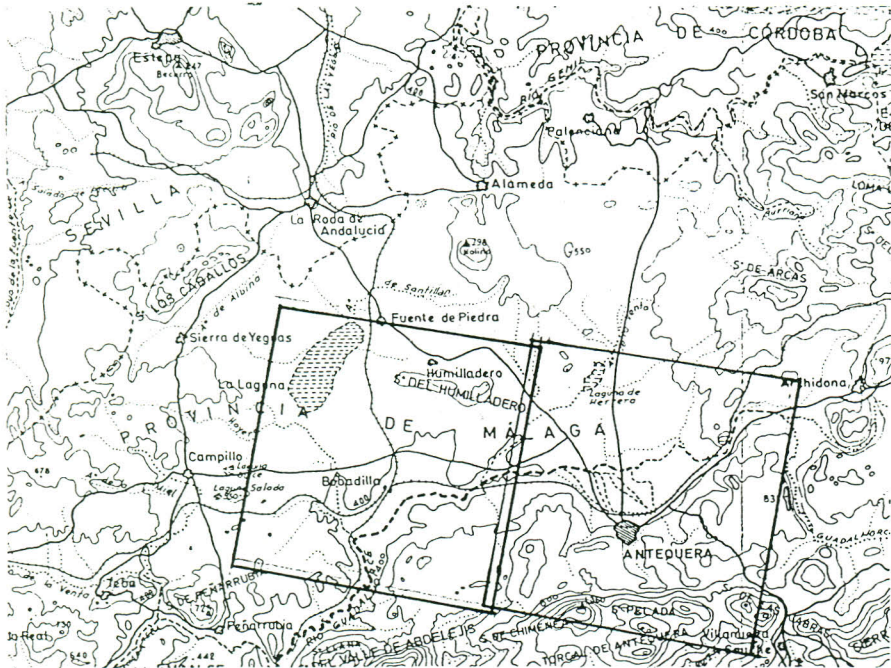
(2) Universidad de Nottingham

La finalidad del trabajo ha sido el comprobar la fiabilidad de las diversas técnicas aplicadas a la teledetección para hacer una cartografía de los usos del suelo en una zona concreta, en este caso, la comarca de Antequera en la provincia de Málaga. Se partía de un conocimiento completo de la zona⁽²⁾ y teniendo presente que la respuesta espectral de cada pixel depende de las condiciones locales (tipo de roca y de suelo, condiciones del relieve, latitud, época y hora del paso del satélite) y del tipo de cultivos y de vegetación natural y de su estado de vigor en ese momento, queríamos encontrar claves para poder aplicarlas a zonas cercanas a la depresión, en concreto al valle del Guadalquivir, afín en cultivos y condiciones naturales.

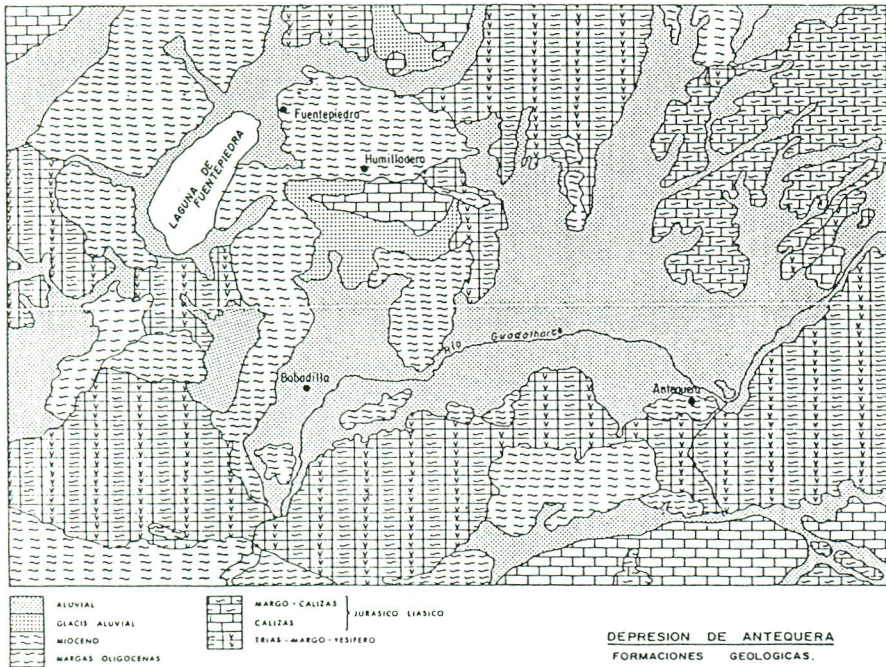
Se seleccionó la depresión de Antequera por reunir al mismo tiempo una amplia variedad de cultivos y de vegetación natural en grandes espacios llanos donde predominan las grandes parcelas por tratarse de secanos que, si bien se han puesto en regadío recientemente, no ha habido transformación en el parcelario. Solo en pequeños espacios existían riegos tra

(1).- El trabajo es un resumen de un estudio-piloto realizado para ser entregado a la Agencia Espacial Europea en 1.986. Se utilizaron los programas del Prof. Paul Mather de la Universidad de Nottingham.

(2).- En el Departamento de Geografía de Málaga están los mapas de cultivos del Ministerio de Agricultura (1.974-76) a escala 1:50.000; la fotografía aérea vertical escala 1:18.000 del Ministerio de Agricultura; la fotografía aérea, escala 1:40.000 realizada por encargo de la Junta de Andalucía en 1.984, fecha del paso del satélite, y el mosaico, encargado también por dicha Junta, a escala 1:25.000. Las frecuentes visitas a la zona nos permitían un conocimiento adecuado de ella.



Localización de las subescenas la LAGUNA y ANTEQUERA en la depresión de Antequera.



dicionales con exiguas parcelas. Una complicación mayor representaban las zonas elevadas por el mosaico de parcelas de cultivos intercalados entre la vegetación natural, arbórea o arbustiva.

La Depresión de Antequera, es una extensa llanada situada en el surco intrabético que se prolonga hacia la depresión del Guadalquivir sin más discontinuidad que unas pequeñas sierras aisladas que emergen en medio de la llanura. De ahí la posibilidad de aplicar los resultados obtenidos a la campiña cordobesa cercana, en el valle del Guadalquivir.

La altitud media de la llanura oscila entre 410 m. - 460 m. y los rasgos climáticos adquieren caracteres de continentalidad en las temperaturas -conoce las heladas invernales- al quedar aislado de las influencias mediterráneas por la alineación del bético interno que le separa del mar por el sur.

Cuatro tipos de materiales ocupan la mayor parte de la depresión: Primero, calizas y margas jurásicas-liásicas en pequeña extensión y que dan relieves enérgicos. Están cubiertas de matorral, de pinares de repoblación o son, simplemente, eriales. Segundo, el mioceno margoso-arenoso que ocupa grandes extensiones en el llano y se dedica en parte a cultivos herbáceos y, sobre todo, a olivar. Tercero, el triás margoso-yesífero que ocupa el llano y, sobre todo, la orla montañosa que bordea por el sur y está ocupado preferentemente por olivar (cereal en zonas margosas) o bien a erial y matorral. Quedan en ella restos de encinares y algunos retazos han sido repoblados con pinares. El cuarto tipo de materiales es el cuaternario, de sedimentos muy finos, a ambos lados del Guadalquivir y ocupan el centro de la depresión. Su máxima extensión la adquieren al norte de la ciudad de Antequera y en los alrededores de Bobadilla. Su vocación es de cultivos herbáceos cerealistas, forrajeros y hortícolas, estos, sobre todo, en los riegos antiguos. Sobre la mayor parte del cuaternario existen riegos modernos por aspersión con agua extraída de acuíferos cercanos a la superficie (unas 10.000 has.).

Hay que tener presente en esta breve enumeración que el trigo -abundante en la depresión- se cultiva en dos ciclos diferentes: el ciclo corto que se siembra en noviembre y se recoge en la primera quincena de junio y el de ciclo largo que se siembra en diciembre y se siega en el mes de julio. Es muy difícil saber qué tipo de trigo tenía cada parcela el 15 de junio, época de las cintas. Parte estaba segándose y su cosecha madura presentaba una reflectancia mayor que el trigo de ciclo largo que se segaba en julio. Por otro lado, el girasol, la alternativa más generalizada -del secano en la depresión se siembra en marzo y aunque ya estaba crecido

en el mes de junio no cubre totalmente el suelo en esa fecha como ocurre con el trigo.

Finalmente hay que tener presente que las últimas lluvias habían caído el 31 de mayo, es decir quince días antes y el suelo estaba desecado, sobre todo en las zonas alomadas.

1.- Tratamiento de la imagen.

Se utilizaron las siete bandas del Thematic Mapper a su paso por la depresión el 15 de junio de 1.984. Se procedió en primer lugar a dividir la zona de estudio en dos subescenas de 512x512 pixels cada una. A una de ellas, por incluir la laguna de Fuentepiedra se le llamó LA LAGUNA y a la otra, donde aparece la ciudad de Antequera se le dió el nombre de esta ciudad.

Un paso previo fue obtener el histograma general de cada subescena. Las bandas 1,2 y 3 concentran los pixels en pocas clases mientras que el cercano infra-rojo (banda 5) y lejano infrarojo (banda 7) permiten una mayor diferenciación de usos del suelo por su amplio número de clases.

Además hay un desplazamiento progresivo en cuanto a intensidad de reflectancia, de menor a mayor desde la banda 2 a la banda 6. La banda 1 está desplazada hacia una mayor reflectancia mientras que la banda 7 se si túa en cuanto a intensidad de reflectancia, al mismo nivel que la banda 2.

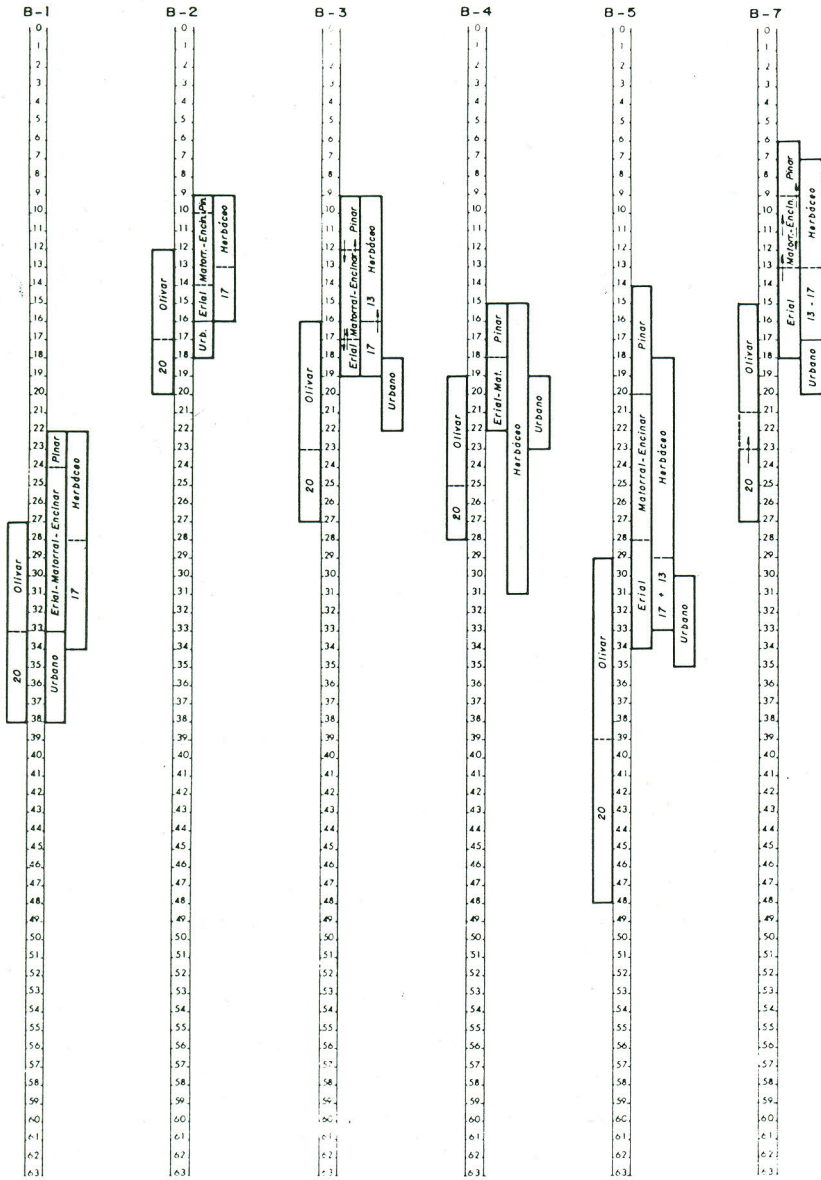
La diferencia entre ambas subescenas es la aparición de un pico de menor reflectancia en las bandas 5 y 7 en la subescena LA LAGUNA por la presencia de una considerable masa de agua. A su vez el histograma de Antequera aparece en general con una menor intensidad de reflectancia por la mayor presencia de regadío y de herbáceo mientras que predomina el olivar en la de LA LAGUNA. En las bandas 1 y 2, poco sensibles al agua y humedad, los dos histogramas son semejantes.

Posteriormente se localizaron parcelas previamente conocidas por su uso del suelo y se procedió a buscar su respuesta espectral en cada ban da a fin de poder clasificarlas por su reflectancia. Las muestras abarcaban distintas extensiones: unas eran de 121 pixels otras de 81 y 36 pixels, pero la mayor parte abarcaban 100 pixels. Las muestras escogidas representaban diversos usos, y éstas están distribuidas por toda la subescena.

Se analizaron en cada muestra sus histogramas diferentes entre sí aun en el mismo tipo de cultivo por la variedad de suelos y de vigor de la planta, lo mismo que de humedad. Por eso aparecen diferencias entre seco y regadío dentro de un mismo cultivo. En los gráficos 1 y 2 hemos resu

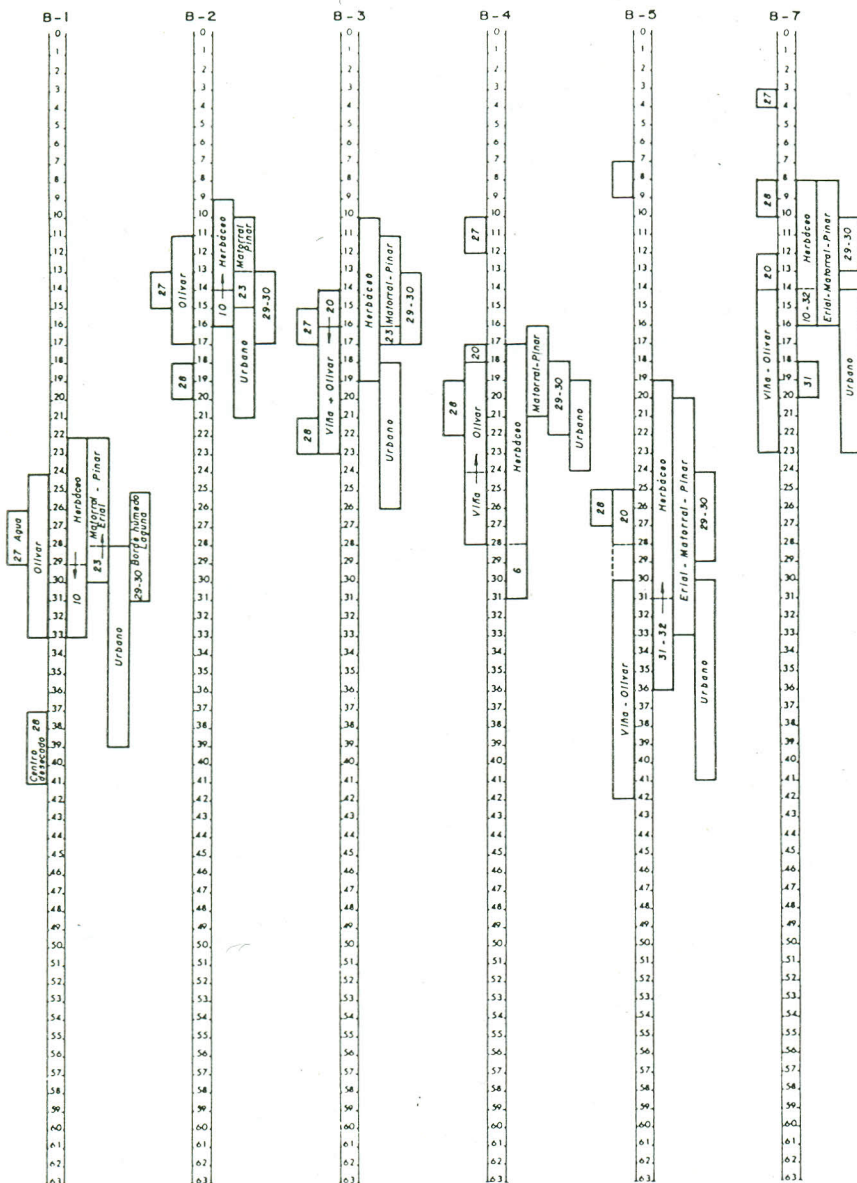
Reflectancia de muestras de diferentes usos del suelo(intens. 0-63)

ANTEQUERA



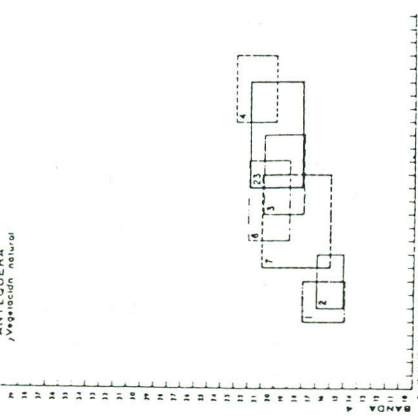
Reflectancia de muestras de diferentes usos del suelo (intensidad 0-63)

LAGUNA

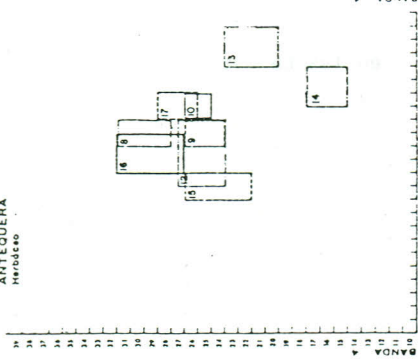


INTENSIDAD DE REFLECTANCIA 0-63

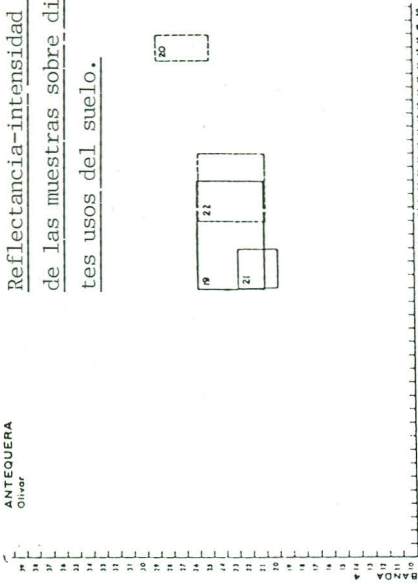
ANTEQUERA
Vegetación natural



ANTEQUERA
Herbaleso

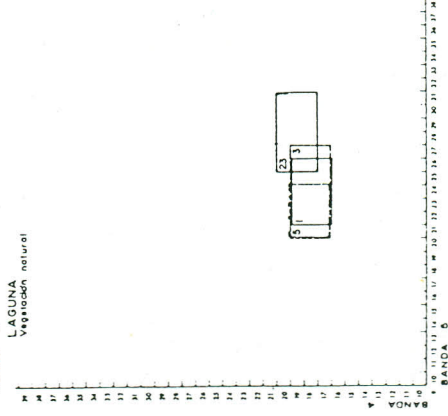


ANTEQUERA
Oliver

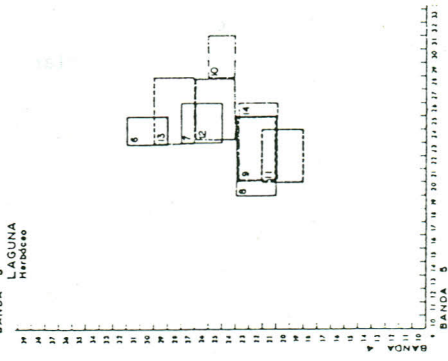


Reflectancia-intensidad 0-63-
de las muestras sobre diferen-
tes usos del suelo.

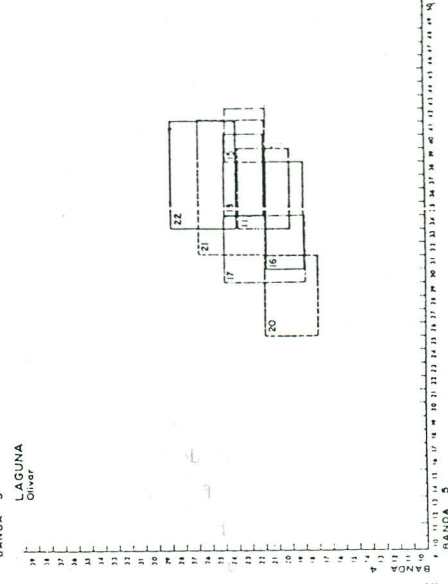
LAGUNA
Vegetación natural



LAGUNA
Herbaleso



LAGUNA
Oliver



2.- Análisis iterativo de conglomerados (cluster análisis). Método centroide.

Se intentó obtener una clasificación "natural" asignando todos los pixels a una clase más reducida de grupos que se excluyen mutuamente de tal modo que los individuos del mismo grupo sean entre sí lo más semejantes posible y los individuos situados en diferentes grupos sean por el contrario lo más diferentes posible.

Se pretendió agrupar los 262.144 pixels de cada subescena en un pequeño número de clases que fuesen más manejables e inteligibles. Los pasos fueron los siguientes:

- a) establecer cual es el número de grupos mayores o "conglomerados" de pixels dentro de cada subescena,
- b) conocer cuáles son las características de cada "conglomerado",
- c) estudiar la distribución espacial de cada "conglomerado" en cada subescena.

Se utilizó una técnica iterativa a fin de que el número de conglomerados resultantes pudieran ser el resultado del propio análisis en vez de haber sido determinados previamente por el investigador.

En primer lugar, se crearon 25 conglomerados iniciales en cada subescena y la computadora produjo al azar siete números para cada uno de los 25 conglomerados. Estos números aleatorios formaron las siete coordenadas que conjuntamente determinan la ubicación del centro de cada uno de los 25 conglomerados.

Se midió la distancia en línea recta (euclidiana) entre cada pixel y cada uno de los 25 centros de conglomerados y cada pixel fue asignado al centro de su agrupamiento más cercano. De este modo aparecieron conglomerados que solo tenían asignados un pequeño número de pixels y otros que estaban vacíos. Entonces en los conglomerados que no estaban vacíos, los centros de gravedad se calculan en relación a los pixels que les habían sido asignados. Estos centros de gravedad se convierten en nuevos centros de conglomerados.

Se calculó el número de pixels en cada conglomerado y se encontró con once conglomerados que tenían pixels y 14 que estaban vacíos. A los conglomerados vacíos se les dió nuevamente y también de manera aleatoria unas nuevas coordenadas. Todos los pixels fueron entonces nuevamente reasignados en cada subescena a su centro de conglomerado más cercano. Con sus resultados -aparecieron ahora 13 conglomerados- se decidió eliminar los conglomerados con menor número de pixels en cada imagen y reasignarlos al conglomerado remanente más cercano. De esta manera solo permanecieron

CUADRO n.º 2
ANTIGÜERA

Cluster (Conglome- ntados)	No de pixels	% de la Imagen Total	Situación del centro						
			1	2	3	4	5	6	7
Olivar con suelo desnú do	2.898	1,1	143 (35)	76 (19)	99 (24,7)	110 (27,5)	180 (45)	135 (33,7)	99 (24,7)
Secano herbá ceo y mator- ral denso	97.073	37	113 (28,5)	54 (13,5)	65 (16)	85 (21)	111 (27,7)	129 (32)	53 (13)
Herbáceo se- co (carrizales hu- medo)	35.295	13,5	112 (28)	54 (13,5)	60 (15)	105 (26)	105 (26)	123 (30,7)	44 (11)
Urbano	19.399	7,4	135 (33,7)	68 (17)	83 (20,7)	99 (24,7)	144 (36)	126 (31,5)	74 (18,5)
Rep. pinaras	8.405	3,2	97 (24)	43 (10,7)	45 (11)	72 (18)	79 (19,7)	125 (31,2)	34 (8,5)
Herbáceo tie- go (forraje)	8.689	3,3	105 (26)	49 (12)	53 (13)	98 (24,5)	82 (20,5)	122 (30,5)	34 (8,5)
Herbáceo tiego	35.877	13,7	104 (26)	49 (12)	54 (13,5)	90 (22,5)	93 (23)	127 (31,7)	40 (10)
Olivar y barbecho	48.458	18,5	119 (29,7)	59 (14,7)	73 (18)	90 (22,5)	134 (33,5)	135 (33)	69 (17)
Roca desnuda (Olivar suelo blanco)	851	0,3	166 (41,5)	89 (22)	111 (27,7)	120 (30)	179 (44,7)	128 (32)	98 (24,5)
Herbáceo secano (Girasol)	5.199	2	104 (26)	49 (12)	50 (12,5)	126 (31,5)	101 (21)	126 (31,5)	38 (9,5)

CUADRO n.º 1
LA LAGUNA

Cluster (Conglome- ntados)	No de pixels	% de la Imagen Total	Situación del centro						
			1	2	3	4	5	6	7
Olivar con suelo desnú do (y viñedo)	14.411	5,5	135 (33,7)	74 (18,5)	100 (25)	110 (27,5)	184 (46)	139 (34,7)	103 (25,7)
Herbáceo seco denso	90.845	34,7	111 (27,5)	54 (13,5)	68 (17)	84 (21)	117 (29)	131 (32,7)	56 (14)
Herbáceo seco denso (hué- medo)	20.016	7,6	112 (28)	55 (13,7)	63 (15,7)	104 (26)	108 (27)	122 (30,5)	47 (11,7)
Urbano y bot- e de secado laguna	9.463	3,6	145 (36)	74 (18,5)	93 (23)	99 (24,7)	139 (34,7)	128 (32)	69 (17)
Agua centro laguna	3.527	1,3	120 (30)	62 (15,5)	69 (17)	53 (13)	38 (9,5)	115 (28,7)	18 (4,5)
Zona pantano sa del centro laguna semiseca	2.992	1,1	137 (34)	69 (17)	80 (20)	69 (17)	50 (12,5)	117 (29)	23 (5,7)
Herbáceo tie- go pinaras reproducción	31.317	11,9	103 (25,7)	48 (12)	55 (13,7)	87 (21,7)	98 (24,5)	128 (32)	43 (10,7)
Olivar	68.076	26	117 (29)	60 (15)	79 (19,7)	92 (23)	145 (36)	136 (34)	77 (19)
Zona deseca da sur lagu- na	3.669	1,4	160 (40)	80 (20)	95 (23,7)	86 (21,5)	89 (22)	126 (31,5)	34 (8,5)
Herbáceo se- cano	17.828	6,8	111 (27,7)	56 (14)	68 (17)	106 (26,5)	131 (32,7)	134 (33,5)	61 (15)

10 conglomerados cuyas características aparecen en los cuadros nº 1 y nº 2.

Los resultados del cluster son muy satisfactorios como método clasificatorio. Su visualización en la pantalla ayuda a distinguir los diferentes grupos en su distribución espacial en particular las diferentes clases de cultivos herbáceos. Pero el inconveniente principal es que se pierde de la nitidez de las parcelas que tan claramente aparecen con las fotografías de falso color. Los restantes tratamientos, el de componentes principales y el Tasselet Cap aunque tendrán otro significado no borran los límites de las parcelas y por consiguiente ayudan a la interpretación espacial mejor que el cluster analysis. En el cluster todavía se confunden el matorral con herbáceo en estado cercano a la maduración y en la subescena de la Laguna el matorral denso se confunde con zonas de herbáceo de riego eventual.

3.- Análisis de componentes principales.

Es ya conocido que el análisis de componentes principales sobre una serie de datos se extrae un grupo de componentes que ayudan a identificar la estructura subyacente del grupo de datos. Estos componentes son transformaciones lineales de las variables originales (en nuestro caso de las siete bandas del Thematic Mapper). El primer componente es un vector que se orienta en la dirección de la varianza máxima de la distribución de los puntos. En términos geométricos, puede ser considerado como el eje mayor, el que mejor representa la dirección principal dentro de un grupo de puntos y datos. El segundo componente también está situado en la dirección de máxima varianza dentro del grupo de datos, pero está subordinado a situarse ortogonalmente al primer componente. El tercero y siguientes componentes maximizan la varianza total y siempre quedan subordinados a situarse ortogonalmente a todos los componentes previos: representan direcciones de tamaño decreciente, aunque no necesariamente de importancia decreciente.

Lo importante del método es que un gran número de variables puede ser reemplazado por un pequeño número de componentes que explican la mayor parte de la varianza de datos y ha dado unos resultados interesantes en su aplicación a la discriminación de usos del suelo.

Los resultados del análisis se recogen en el cuadro nº 3. Nótese el peso del primer componente principal y que más del 90% de la varianza queda explicada por solo tres de ellos.

CUADRO nº 3

"Eigenvalues" y porcentaje de varianza explicado por cada componente principal en las imágenes de la LAGUNA y ANTEQUERA

Componente Principal	Subescena de LA LAGUNA			Subescena de ANTEQUERA		
	"Eigenvalues"	Porcentaje	Porcentaje Cumulativo	"Eigenvalues"	Porcentaje	Porcentaje Cumulativo
1	3.93	56.18	56.18	4.38	62.63	62.63
2	1.72	24.63	80.81	1.44	20.63	83.26
3	0.80	11.43	92.24	0.71	10.18	93.44
4	0.37	5.34	97.58	0.31	4.43	98.86
5	0.10	1.43	99.01	0.08	1.19	99.06
6	0.04	0.61	99.62	0.04	0.57	99.62
7	0.02	0.38	100.00	0.03	0.38	100.00

NOTA: Por haber redondeado los números puede aparecer un pequeño error en el total.

3.- Interpretación de los tres primeros componentes principales.

Componente I.- La matriz de carga de los componentes principales en LA LAGUNA y ANTEQUERA se muestra en los cuadros 4 y 5. En el cuadro 4 se puede ver que en LA LAGUNA, el I componente tiene una carga positiva en las siete bandas y que, excepto en el caso de la banda 6 (la banda térmica) - estas cargas son muy altas (+0,60). El componente I para la escena de ANTEQUERA (cuadro 5) tiene unas características muy similares, excepto que la banda 4 tiene una carga positiva muy débil (+0,265 en vez de -0,600). Este componente puede ser definido como representativo de toda la "brightness" (brillantez, luminosidad) relacionada con el suelo desnudo en la reflectancia de la imagen en ambas áreas.

CUADRO nº 4

Matriz del peso de los componentes principales en la Subescena de la LAGUNA

		Componentes principales						
		1	2	3	4	5	6	7
Bandas espectrales	1	0.732	-0.621	-0.160	0.074	-0.205	-0.049	-0.057
	2	0.846	-0.482	-0.141	0.088	0.027	0.124	0.085
	3	0.926	-0.205	-0.205	-0.003	-0.221	-0.089	-0.028
	4	0.600	0.017	0.761	0.244	0.021	0.007	-0.023
	5	0.836	0.471	0.120	-0.206	-0.087	-0.085	0.092
	6	0.324	0.775	-0.345	0.417	-0.030	0.004	-0.005
	7	0.811	0.491	-0.024	-0.291	-0.010	0.097	-0.080

CUADRO nº 5

Matriz del peso de los componentes principales en la Subescena de ANTEQUERA

		Componentes principales						
		1	2	3	4	5	6	7
Bandas espectrales	1	0.906	-0.279	-0.203	-0.123	0.199	-0.045	-0.058
	2	0.056	-0.191	-0.037	-0.170	0.013	0.073	0.119
	3	0.940	0.082	-0.006	-0.267	-0.187	-0.035	-0.055
	4	0.265	-0.706	0.652	0.069	-0.006	0.014	-0.023
	5	0.927	0.159	0.042	0.310	-0.024	-0.122	0.049
	6	0.151	0.842	0.488	-0.150	0.090	-0.005	0.004
	7	0.902	0.301	-0.067	0.267	-0.008	0.126	-0.055

ANTEQUERA
Primer componente



LA LAGUNA
Primer componente principal



En la fotografía (blanco y negro), el peso altamente positivo que representa una fuerte presencia del componente aparece en blanco, mientras que el peso altamente negativo, representando una marcada ausencia del componente, aparece como negro. Las escalas de grises representan posiciones relativas entre estos dos extremos.

En la imagen de LA LAGUNA la máxima brightness aparece en los cultivos de olivar sobre mioceno y triás, mientras que las zonas más oscuras representan áreas cubiertas de cultivos más intensivos -herbáceos- en la zona regada junto al río Guadalhorce y en la zona comprendida entre la sierra de Humilladero y la Estación de Bobadilla donde predominan terrenos -cuaternarios y se riegan por dispersión los cultivos herbáceos. La zona no regada y el olivar, aparece en blanco. Las zonas de vegetación natural -matorral, repoblación- al sur de la foto, aparecen en tonos oscuros.

En la imagen de ANTEQUERA las áreas que representan una carga altamente positiva en el componente I aparecen de nuevo en blanco y se trata de cultivos de olivar sobre terrenos del mioceno y del triás (el extremo oeste de la imagen y al sur de Antequera) y en el área donde el terreno geológico subyacente es predominantemente jurásico margoso (Malm). La ciudad de Antequera también aparece en blanco. El tono oscuro se encuentra de nuevo en las zonas de agricultura más intensiva, las zonas regadas a uno y otro lado del río Guadalhorce y en las tierras altas del sur de la imagen donde la vegetación predominante es de matorral y pinares de repoblación.

Componente II.- Para la imagen de LA LAGUNA el componente II tiene una fuerte carga positiva sobre la banda 6 (la banda térmica) y carga débilmente positiva sobre las bandas del medio y lejano infra-rojo, bandas 5 y 7. Hay también una fuerte carga negativa sobre la banda I (absorción clorofílica) y débil carga negativa en las otras bandas del visible, bandas 2 y 3 (Cuadro 4). En la imagen de ANTEQUERA (Cuadro 5), el componente II tiene de nuevo una fuerte carga positiva en la banda 6, y débil carga positiva en las bandas 5 y 7 pero débil carga negativa en las tres bandas del visible (bandas 1, 2 y 3). El nuevo elemento en el componente II es la fuerte carga negativa en la banda 4 (la banda del cercano infra-rojo). Para ambas imágenes el componente II puede ser definido como el indicador de la presencia de valores termales relativamente altos y la ausencia de una fuerte actividad vegetativa (como queda indicado por la carga predominantemente negativa en las primeras cuatro bandas). De ahí que podamos esperar un importante peso del componente II que se nos mostrará como blanco en las

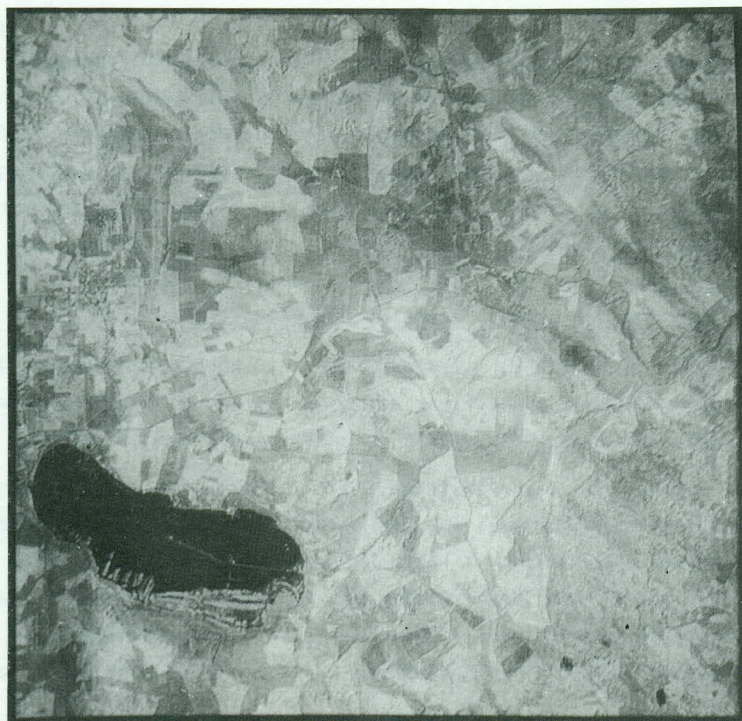
ANTEQUERA

Segundo componente



LA LAGUNA

Segundo componente



fotografías en blanco y negro al representar la roca desnuda, suelos incultos, rocas de caliza blanca, etc., todo lo cual genera unos altos valores de emisión térmica. Del mismo modo, se nos mostrará en negro el agua, que tiene baja emisión térmica y las tierras regadas -cultivos herbáceos- que tienen conjuntamente agua y alta actividad vegetativa.

En la foto de LA LAGUNA, los tonos blancos aparecen, por eso, en la zona de materiales del triás y mioceno, donde se encuentra el olivar y en menor escala el viñedo; mientras que aparece en negro la laguna de Fuentepiedra y la zona de cultivos herbáceos regados que sigue el Guadalhorce y lo mismo la franja que va desde la Sierra de Humilladero hasta Bobadilla. El mismo esquema se reproduce en la imagen de ANTEQUERA donde las áreas en blanco aparecen en la parte sur montañosa (triás, mioceno) lo mismo que al norte, llano pero de materiales mioceno-triásico y margas jurásicas, todos ellos cubiertos de olivar. Los tonos oscuros corresponden al herbáceo regado de todo el centro de la imagen.

Componente III.- Tiene una fuerte carga positiva en la banda 4 en ambas imágenes. No obstante en la imagen de LA LAGUNA este componente tiene también claramente una carga negativa en la banda 6, la banda térmica, mientras que en la imagen de ANTEQUERA, tiene un fuerte peso positivo en la banda 6. La diferencia en el comportamiento de la banda térmica es debido probablemente a la existencia de la amplia masa de agua de la laguna de Fuentepiedra en la imagen de LA LAGUNA, con valores muy bajos de emisión térmica, hecho que no ocurre en la imagen de ANTEQUERA. El componente III puede ser interpretado probablemente como suministrador de una información adicional acerca del crecimiento de la vegetación en las dos imágenes y -por consiguiente, permite establecer una clasificación básica del estado de vigor de los cultivos.

4.- Aplicación del modelo "Tasselet Cap transform".

El "Tasselet Cap Transform" fue introducido por Kauht y Thomas en 1.976 como medio de identificar sistemáticamente un determinado número de tipos de cultivos en gran escala y en diferentes épocas del año.

Continuando el trabajo de Suits (1.972), los autores estudiaron -los valores de reflectancia de dos cosechas de trigo, una creciendo sobre un suelo de color negro y la otra sobre un suelo de color claro. Se pudo constatar que en los comienzos las dos series de valores espectrales eran muy diferentes, reflejando la gran diferencia de condiciones del suelo de las dos áreas. Cuando habían crecido las cosechas de las dos áreas, los va

lores de reflectancia de ambas llegaron a ser semejantes, hasta que finalmente cuando la cobertura vegetal cubrió totalmente el suelo, las dos coberturas parecían idénticas. Los autores avanzaron la idea de que después de que las dos coberturas vegetales juntaban su común trayectoria, caían de nuevo hacia atrás, a lo que ellos llamaron la "línea del suelo", pero en un diferente plano. Este es el plano del amarilleamiento, marchitez, - ("yellowing") cuando la cosecha madura alcanza la senescencia y finalmente retrocede hacia el plano del suelo donde revierte a las características - del suelo desnudo.

En su formulación original el modelo "Tasselet Cap" puede ser, por consiguiente, considerado como basado en el ciclo biológico. Pronto se vio que proporcionaba un provechoso lazo entre la respuesta espectral y la realidad física.

A fin de poder estudiar los diferentes rasgos del "Tasselet Cap" Kauth y Thomas escogieron realizar una transformación lineal sobre los datos de un modo análogo al análisis de los componentes principales, pero con cada eje o componente identificado con alguna parte del Tasselet Cap. Utilizando los datos del MSS fue posible extraer cuatro dimensiones o componentes:

i) El primer componente fue escogido para depender del "plano de los suelos". Se estableció un vector basado en valores obtenidos a partir de una muestra de 12 áreas de suelo en Fayette County. Este vector que representaba el valor de la luminosidad de los suelos fue denominado "Brightness".

ii) El segundo componente, ortogonal al primero, se situó en la dirección del "plano del verdor" y se le llamó "greenness".

iii) El tercero, componente ortogonal a los dos anteriores, se situó en la dirección del "plano del amarilleamiento" (o marchitez) y fue denominado "yellowness".

La aplicación del Tasselet Cap transformation se ha realizado en dos áreas: i) en el perfeccionamiento del modelo básico, ii) adaptación y reforma del modelo para usarlo con los datos del Thematic Mapper (TM). El principal perfeccionamiento del modelo básico ha sido el redefinir el componente "yellowness" (amarilleamiento, marchitez) para que sirva como un diagnóstico de la "bruma" (Kauth y otros, 1.979) mientras que originalmente se había considerado que correspondía al envejecimiento de la planta. La adaptación del modelo Tasselet Cap para su uso con los datos del TM se debió al trabajo de Crist (1.983 y 1.985) y a Crist y Cicone (1.984a y -

1.985b). Usando conjuntamente la simulación del TM. y los datos del TM. - tomados de varias zonas de Estados Unidos, Crist y Cicone fueron capaces de redefinir el modelo Tasselet Cap Transformation. Se utilizaron los seis canales no térmicos del TM. y, en consecuencia, se extrajeron seis componentes. De estos, solamente los tres primeros dieron una interpretación física. Estos son los siguientes:

i) Brightness. El primer componente, la luminosidad (brightness) tiene un peso positivo en las seis bandas. Como tal responde a los cambios en la reflectancia total y por consiguiente a aquellos factores físicos - que afectan a la reflectancia total. Las diferencias en las características del suelo (tamaño de las partículas del suelo, color, etc.) todo ello afectará fuertemente al brightness mientras que las diferencias en vegetación que tienen una respuesta mayor en los canales del infra-rojo que en los del visible, mostrarán con mucho, menos cambios en el Brightness.

ii) Greenness. El segundo componente, el verdor, tiene peso negativo en las tres bandas del visible y un fuerte peso positivo en la banda del cercano infra-rojo. Las dos bandas del infrarojo de mayor longitud de onda (infra-rojo medio y lejano) son muy reducidas y se piensa que se anulan una a la otra. Greenness corresponde a la alta absorción en las bandas del visible (debido a la pigmentación de las plantas y especialmente a la clorofila) y a la alta reflectancia en el cercano infra-rojo (debido a la interna estructura de la hoja).

iii) Wetness (la humedad). El tercer componente representa una información completamente nueva no disponible en el MSS Tasselet Cap. Este componente tiene un peso positivo en las bandas del visible y del infrarojo cercano que contrasta con el peso negativo sobre las dos bandas del infrarojo medio y lejano. Estas dos bandas de los dos infrarojos de longitud de onda más larga se los considera muy sensibles a la humedad del suelo y a la humedad de las plantas. A causa de esta sensibilidad este componente ha recibido el nombre de "wetness".

Se pueden combinar estos tres rasgos para definir dos planos ortogonales que pueden proporcionar interpretaciones físicas (como en el modelo MSS). La Greenness y la Brightness del TM. pueden combinarse para formar el "plano de la vegetación". El crecimiento de un cultivo puede de esta manera ser representado como moviéndose a través de este plano partiendo del suelo desnudo, avanzando hacia la madurez del cultivo (hacia su envejecimiento), etc. El TM. Wetness y Brightness pueden combinarse para formar el "plano de los suelos". Nuevamente todas las etapas del ciclo de un cultivo pueden ser representadas gráficamente de esa manera sobre un pla-

no. Entre estos dos planos ortogonales Crist y Cicone (1.984 p. 261) sugieren que existe una "zona de transición" formada por la wetness y Greenness que puede también ser usada para representar gráficamente el desarrollo de los cultivos. Estos tres planos proporcionan tres diferentes puntos de vista del mismo grupo de datos, pero realizado de un modo que permite comprenderlos mucho más fácilmente que cuando los datos están sin transformar.

El TM. Tasselet Cap ha sido aplicado a una gran variedad de situaciones en USA. Por ejemplo, Badhwar (1.984) encontró el modelo muy útil para distinguir el maíz de la soja en el estado de Iowa.

Según nuestros conocimientos actuales, el TM. Tasselet Cap Transform hasta ahora no ha sido aplicado a ningún grupo de datos europeos. Consecuentemente no hay evidencia que demuestre que el Tasselet Cap se acomoda bien a las condiciones europeas. Es posible que las condiciones atmosféricas europeas, su agricultura, etc. sean suficientemente diferentes de las de América del Norte para justificar una reforma en los valores numéricos del Tasselet Cap a fin de obtener resultados mejorados. Por este motivo nuestra utilización del modelo Tasselet Cap con los datos del Thematic Mapper para la depresión de Antequera deben ser considerados estrictamente como un estudio exploratorio. Se necesita realizar bastantes más trabajos de investigación antes de que se pueda hacer una completa evaluación del modelo Tasselet Cap. Sin embargo nuestra primera experiencia con el modelo se nos manifiesta muy prometedora. Se ha aplicado un Tasselet Cap transformation a la subescena de ANTEQUERA y LA LAGUNA. En la pantalla, el brightness aparece en rojo, la greenness en verde y la wetness en azul. De hecho los principales rastros de la región de Antequera están claramente señalados. Las áreas donde el suelo desnudo aparece sobre margas blancas o sobre yesos por tener una vegetación clareada toman un color rojo-marrón oscuro. Es general este color sobre las zonas plantadas de olivares donde aparece el suelo desnudo- por estar labrado- entre los árboles. En contraste, el área edificable de la ciudad de Antequera y de edificaciones aisladas en medio de la vega han tomado un color rojo-carmesí. Los campos de toda la zona central de herbáceo regado están claramente delimitados con el color dominante que va de un azul claro a un azul claro verdoso que representa los altos valores de la humedad (wetness) y de greenness (verdor).

BIBLIOGRAFIA

- ANDERGERG, M.R. (1973): Cluster analysis for applications.
- CRIST, E.P. (1983) : The Thematic Mapper Tasseled Cap, a preliminary formulation. Machine Processing of Remotely Sensed Data Symposium. Purdue University, West Lafayette, Indiana pp. 357-363.
- CRIST, E.P. (1985) : A TM Tasseled Cap equivalent transformation for reflectance factor data. Remote Sensing of Environment. Vol,17 pp.301-306.
- CHATFIELD, C and A.J. COLLINS (1980): Introduction to multivariate analysis.
- EVERITT, B. (1979): Cluster analysis.
- GONZALEZ, R.C. and P. WINTZ (1977): Digital image processing. Addison-Wesley.
- KAUTH, R.J. and G.S. THOMAS (1976): The Tasseled Cap-a graphic description of the spectral-temporal development of agricultural crops as seen by Landsat. Symposium of Machine Processing of Remotely Sensed Data. Purdue University West Lafayette, Indiana pp.4-51.
- SWAIN, P.H. and S.M. DAVIS (1976): Remote sensing: the quantitative approach. MacGraw-Hill.
- TOWNSHEND, J.R.G. (1984): Agricultural land cover discrimination using Thematic Mapper spectral bands. International Journal of Remote Sensing. Vol 5, pp.681-698