

## Aplicación al estudio del suelo de los componentes principales de una imagen Landsat TM

J.L. LABRANDERO

### 1. Introducción

El territorio al Oeste de la Comunidad de Madrid se identifica predominantemente con formaciones litológicas de tipo silíceo, que configuran un paisaje de suaves lomas afectado por un continuo proceso de erosión. En este marco geográfico utilizamos la información proporcionada por el sensor Thematic Mapper del satélite Landsat-5, con el fin de estudiar los suelos, paisajes y otros elementos del terreno.

El tratamiento de la imagen se ha realizado en el sistema Pericolor 1000 instalado en el NPOC español de la Agencia Espacial Europea. El método de estudio ha consistido en analizar las bandas originales y los "Componentes Principales" de la escena. Se ha complementado el estudio con la interpretación de composiciones coloreadas de estos "Componentes Principales" y el falso color de las combinaciones de bandas originales de mayor interés desde un punto de vista edafológico.

### 2. Area test seleccionada

El área test de Navalcarnero ha sido seleccionada para estudiarla en la imagen de satélite Landsat-5 correspondiente al inicio de la primavera del año 1985.

Está situada en los alrededores

de este municipio de la provincia de Madrid y muy próxima al límite con la de Toledo.

Los materiales geológicos de este área son arcosas procedentes de la erosión de granitos y gneis de la Sierra de Guadarrama. Las arcosas están constituidas por una matriz arcillo-arenosa, rica en feldespatos, con cantos de granito y gneis.

El clima, con una precipitación media anual inferior a 500 mm., se define como mediterráneo templado y permite el desarrollo de una vegetación natural con predominio de encinar (género Quercus).

Los suelos que se desarrollan, bajo un régimen hídrico de tipo xérico, tienen un horizonte superficial de color claro que descansa sobre el material originario sin alterar cuando están poco evolucionados. En un estadio intermedio de evolución se presentan en este área test suelos denominados Inceptisols con un horizonte de tipo cámbico entre el horizonte superficial y el material originario. La máxima evolución del suelo se observa en perfiles con un horizonte argílico, clasificados como Haploxeralfs, a veces con la presencia de carbonato cálcico formando una red o malla que recubre los bloques de los agregados.

El aprovechamiento del suelo es-

tá dedicado principalmente al cultivo de plantas herbáceas de secano mediante laboreo intensivo o alternativa de año y vez. En esta zona test, el segundo grupo en importancia del aprovechamiento del suelo lo constituye el cultivo de viña.

### 3. Material y métodos

Un área de 256 x 256 pixels, que corresponden a una superficie de 60 Km<sup>2</sup> y forma parte del cuarto 3 de la escena 201-032 de fecha 14 de Marzo de 1985 es analizada en cada una de las siete bandas del espectro electro magnético captadas por el sensor TM del satélite Landsat 5. A continuación, con las imágenes correspondientes a seis bandas (excepto la banda 6 del infrarrojo térmico con 120 x 120 de resolución) se calculan los "Componentes Principales", es decir, encontrar imágenes que son combinaciones lineales de las bandas originales que no tengan correlación. Las seis imágenes, resultado de aplicar la transformación de componentes principales se visualizan y valoran en cuanto a su contenido de información, con el fin de utilizar las mejores bandas en composiciones de color.

Un análisis posterior de estas composiciones de color, utilizando bandas originales y bandas procedentes de componentes principales, determina las ventajas e inconvenientes de utilizar las diferentes posibilidades en el estudio de paisajes y ecosistemas.

### 4. Análisis de bandas originales

La detenida observación de la Banda 1 que comprende el rango espectral de 0,45  $\mu\text{m}$  a 0,52  $\mu\text{m}$ , permite diferenciar con nitidez las áreas de suelos ocupados con vegetación de áreas de suelos desnudos. La vegetación que se detecta es la masa forestal del monte de Navalcarnero, próximo a la carretera nacional de Madrid a Extremadura. Otros rasgos visibles en esta banda y que merecen ser destacados son la parcelación excesiva

de los terrenos de labor, especialmente al norte del pueblo. El área test presenta un mosaico muy particular debido a esta división de la propiedad que da lugar a un heterogéneo uso del suelo y consiguiente dificultad de interpretación. La traza de las carreteras principales es muy significativa al sur de la imagen, pero en determinados puntos deja de observarse con esta nitidez.

Si nos fijamos en la imagen correspondiente a la Banda 2, que cubre los rangos del espectro entre 0,52-0,60  $\mu\text{m}$ , observamos que la vegetación está mucho más realzada. La superficie del área test que en esta banda se supone ocupada por vegetación es mucho mayor al detectarse el vigor de la vegetación más intensamente. Esto se traduce en que aparecen campos ocupados por bosques de coníferas, montes de encinar, cultivos de cereales, pastizal y matorral. En la zona forestal se observan diferenciadas las masas de pinar y las masas de encinar. La carretera de Madrid a Extremadura puede dibujarse con gran exactitud, incluyendo la variante que circunvala el pueblo de Navalcarnero.

La Banda 3 no añade información significativa en relación a las bandas anteriores. El rango de 0,63-0,69  $\mu\text{m}$  sirve para detectar la absorción clorofílica por las plantas y en esta época del año, aparentemente no es significativa esta característica.

En la imagen correspondiente al rango espectral 0,76-0,90  $\mu\text{m}$  se observa una excelente detección de la carretera nacional que circunvala la población y de las áreas de suelos sometidas a un proceso de erosión. La carencia de humedad en los suelos erosionados es probablemente la característica que de forma indirecta se deja notar en esta Banda 4. Las áreas de suelos cuya fisiografía presenta superficies cóncavas y que están sometidas a procesos con predominio de sedimentación aparecen con tonalidades más oscuras. Los suelos que se encuentran en estas zonas de va-

guada presentan mayor desarrollo; en la evolución del perfil del suelo el horizonte intermedio es un horizonte argílico con estructura en bloques bien desarrollada. La fertilidad natural de este tipo de perfil ofrece al agricultor la posibilidad de cultivar cereales y obtener una rentabilidad más elevada que la derivada de áreas próximas con tipos de suelos menos evolucionados o sometidas a procesos erosivos.

La banda del sensor TM que cubre el espectro electromagnético entre 1,55-1,75  $\mu\text{m}$  es la Banda 5 y en esta imagen se visualiza la no bien establecida red de drenaje con una gran precisión. El mayor contenido de humedad también se hace perceptible en las riberas de los arroyos y en los lechos de los pequeños barrancos. Se observan patrones muy bien definidos en este rango del espectro y estos patrones presentan una gran similitud con los observados en la imagen de la banda 4. El diferente contenido de humedad asociado a la variabilidad de material geológico de tipo arcósico juega un papel muy importante en la distribución y orientación de estos patrones de suelos.

La imagen correspondiente al infrarrojo térmico entre 10,4-12,5  $\mu\text{m}$  apenas ofrece interés porque se pierden prácticamente todos los elementos de identificación y, únicamente, la masa vegetal de pinos perteneciente al monte de Navalcarnero tiene una expresión distinta de la tonalidad generalizada en el conjunto de la imagen. La resolución geométrica más grosera de esta Banda 6 conjuntamente con el pequeño tamaño del área test y la monotonía del sedimento arcósico impiden que el análisis de esta banda no aporte datos de interés.

La última banda analizada independientemente corresponde a la imagen con rango espectral entre 2,08-2,35  $\mu\text{m}$ . Esta Banda 7 presenta unas características parecidas a las de la banda 5. Se visualiza muy bien el trazado de la importante vía de comunica-

ción y resalta, de modo muy notable, la red de drenaje de los escasos arroyos por donde apenas circula agua en periodos lluviosos.

Es indudable que las redes de comunicaciones (carretera nacional y carreteras locales) y las redes de drenaje (arroyos de cursos intermitentes y barrancos) donde mejor se visualizan y detectan son en las bandas del infrarrojo próximo y medio. La detección más perfecta corresponde a la imagen de la banda 5, a continuación la de la banda 7 y, finalmente, a la de la banda 4.

El análisis de las imágenes en cada una de las bandas tiene como objetivo servir a los edafólogos en el estudio, caracterización y reconocimiento del suelo integrado en el paisaje que forma parte de los ecosistemas. En este sentido podemos decir que de una forma general, las zonas claras que presentan las imágenes son indicativas de suelos desnudos, con poco espesor y son consecuencia de procesos erosivos que afectan a los horizontes superiores e incluso al material originario del suelo. En contraste, las zonas oscuras de la imagen se corresponden con áreas de suelos más evolucionados, con un perfil más desarrollado, más profundos y con la presencia de un horizonte argílico. Bajo estas condiciones el suelo retiene más humedad y su ocupación, en esta época del año tiende a ser de pastizales o barbecho semillado.

##### 5. Análisis de componentes principales.

En las imágenes espectrales captadas por el sensor TM parte de la información que contienen es una información redundante. Para evitar este problema o reducirlo en parte, se utilizan las bandas menos correlacionadas en las composiciones de bandas con el fin de realizar fotointerpretación aplicada al análisis de una determinada temática.

Los "Componentes Principales" de una imagen multibanda son combinacio-

nes lineales de las bandas originales, que se obtienen mediante la transformación de Karhunen-Loeve. Se caracterizan por no estar correlacionadas y acumular en los primeros componentes mucha información.

Para el cálculo de los Componentes Principales se han utilizado las imágenes de seis bandas del sensor TM (exceptuando la Banda 6 por su menor resolución espacial). El programa calcula la matriz de covarianza, la matriz de correlación y sus respectivos vectores de medias. Los autovalores o valores propios de la matriz de correlación son: 5.00, 0.56, 0.28, 0.09, 0.05, 0.02. La interpretación de estos valores propios nos indica que en la banda C1 (primer componente principal) se contienen el 83,4% de información; en el segundo componente principal C2 se encuentra el 9.3% de información; ya en el tercer componente principal C3, el contenido de información solo llega al 4,7% y el resto de información, es decir, el 2,6% está repartido en las bandas de los componentes cuarto, quinto y séptimo. El programa sigue calculando los vectores propios o autovectores asociados a los autovalores previamente calculados y finalmente, los componentes principales correspondientes a las nuevas seis bandas.

Creadas las seis bandas nuevas y visualizadas en el monitor, el mayor contenido de información en las bandas C1, C2 y C3 se confirma, de acuerdo con los valores propios o autovalores de la matriz de correlación. En lo que se refiere a la calidad de la información también se comprueba su inclusión en las citadas bandas pero, además, en la banda cuyo componente principal es el C5 se pueden observar con excelente nitidez las redes de drenajes en toda la imagen.

Para realizar composiciones coloreadas de bandas, tomando como base las correspondientes a los componentes principales, será conveniente utilizar los tres primeros por su mayor contenido de información, sin

olvidar la calidad de información concentrada en el quinto componente.

### 5.1. Interpretación de componentes principales.

La fotointerpretación de la Banda C1 (primer componente principal), cuyo contenido en información es superior al 80% después de la transformación, requiere más control con otros elementos de referencia porque las equivalencias con puntos conocidos del terreno son más difíciles de establecer. Se observa perfectamente la carretera nacional de Madrid a Extremadura; la vía que circunvala el núcleo urbano y esta población pasaría inadvertida si no conociéramos su ubicación exacta.

La red de drenaje que en composiciones de bandas normales se detectaba con facilidad, en este primer componente principal aparece difuminada sin llegar a percibirse la traza de los arroyos intermitentes. Importante es destacar la excelente detección que tienen las áreas de suelos sometidos a procesos de erosión y que en la imagen se identifican con tonos rojos y amarillentos (Fig. 1).

El segundo componente principal contiene más del 9% de información y se identifica con la imagen de la Banda C2. La información de esta imagen no es selectiva pero completa la ofrecida por la banda C1. En esta banda se puede trazar el contorno del núcleo urbano. Otros datos de interés no son perceptibles, como por ejemplo la configuración y tamaño de las parcelas, la traza de la red de drenaje, etc.

El 5% de información que contiene la Banda C3 es mucho más selectiva en lo que se refiere a redes de comunicación y drenaje. El resto de información presenta graves dificultades de interpretación al estar perfectamente diseminada a lo largo y ancho del área test.

Los componentes principales cuarto, quinto y séptimo, que se identifican con las Bandas C4, C5 y C7, y con un

3% de información total tienen de común una enorme cantidad de ruido con la consiguiente falta de elementos identificables, realizándose muy notablemente el núcleo urbano y las sendas redes de comunicación y drenaje en la Banda C5. La banda cuyo componente principal es el séptimo concentra el máximo de ruido.

## 5.2. Composiciones coloreadas de los componentes principales.

Las composiciones coloreadas utilizando distintas bandas transformadas -las tres primeras por su mayor contenido de información- aportan datos valiosos en lo que se refiere a aspectos muy particulares. El falso color conseguido al asignar los filtros azul, verde y rojo respectivamente a las bandas C2, C3, C1, muestra una exquisita percepción de la autovía de circunvalación y antigua carretera que atraviesa el pueblo, de los montes cubiertos de vegetación y de la parcelación que los rodea.

Similares resultados se observan al analizar la composición de C1, C3, C2 bajo los mismos filtros, aunque es más fácil ver e identificar características del área test en la primera composición.

## 6. Análisis de composiciones coloreadas.

En las diferentes composiciones coloreadas siempre asignamos los filtros azul, verde y rojo al orden de bandas establecido. Se analizaron cuatro tipos de combinaciones de bandas con el fin de establecer que combinación de color enriquece más la información edafológica y que características se realzan en cada uno de los tipos de combinación.

### 6.1. Falso color 2, 3, 4

Esta composición de bandas es la que más se utiliza para los distintos análisis temáticos. En relación a nuestros objetivos merece destacar lo siguiente:

El área test queda dividida claramente en dos zonas: un núcleo central rodeando al pueblo de Navalcarnero, en general de tonos más oscuros que se distingue del resto de la imagen, de tonalidades claras.

En este núcleo central existen predominantemente suelos más profundos, más evolucionados, con un perfil cuyo horizonte intermedio es argílico. Los procesos de erosión tan fácil de originarse en estos materiales arcósicos poco consolidados, no presentan signos externos que denoten un grado de erosión de relativa importancia. La unidad cartográfica de suelos es una asociación de suelos con perfil en el que aparece un horizonte argílico como principal y perfil carente de este tipo de horizonte y que se denomina óchrico por encima del material originario como secundario. En detalle, la generalizada zona oscura está salpicada de pequeños tonos claros identificados como suelos con horizonte óchrico directamente desarrollado sobre el material arcósico.

El resto de la imagen, de tonalidad más clara, está ocupada por suelos menos profundos, con horizonte superficial más arenoso, sin desarrollo de horizonte argílico en el perfil. Naturalmente que estos suelos son los dominantes de la asociación que caracteriza los patrones de suelos desarrollados sobre material arcósico conocido como facies Madrid.

Otros rasgos detectables en esta composición de color son la buena visualización del núcleo urbano -donde pueden apreciarse pequeñas plazas- y de la carretera nacional. La excesiva división de la propiedad de la tierra, manifestada en la parte N.E. de la imagen, dificulta enormemente cualquier tipo de interpretación temática al originar un continuo bandeado largo y estrecho consecuencia de la variedad en la cobertura del suelo.

Al utilizar la banda 2 en esta composición de color, el vigor de la vegetación (montes, cultivos, pastos y

matorral) produce en la imagen una tonalidad próxima al rojo. No podemos precisar el componente verde que corresponde a las plantaciones de olivar. Las áreas de suelos más erosionadas presentan tonos blanquecinos.

Esta composición de color, utilizando las bandas 2,3 y 4, realza las características de profundidad de suelos y erosión con más intensidad que la observada en bandas individuales. Los mayores contrastes de color perfilan más exactamente las unidades cartográficas de suelos y ayudan en la percepción de red de carreteras e incluso red de drenaje.

#### 6.2. Falso color 1, 2, 3

Con esta composición de bandas se intentan simular los colores reales que se observan "in situ" y es conocida como color natural. Se consigue una riqueza de tonos grisáceos que tienden a repetir los patrones de suelos observados en la composición anterior.

Desde el punto de vista edafológico mejora las posibilidades de fotointerpretación al poderse trazar con mayor precisión los límites de unidades cuyo comportamiento espectral superficial es similar. La pureza de estas unidades se visualiza con mayor perfección y, únicamente, se pierde nitidez en la percepción de la red viaria nacional al disminuir el contraste de tonos de las parcelas.

Las dos composiciones de color se complementan y el análisis de una de ellas no implica la desestimación del análisis de la otra.

#### 6.3. Falso color 3, 5, 4

La inclusión de bandas cuyo rango espectral llega hasta el infrarrojo próximo acentúa la percepción de la red viaria (de órdenes primero y tercero en la imagen) y de la red de drenaje (arroyos de órdenes segundo y tercero) que, como sabemos, es de corrientes intermitentes o estacionales.

La edafología del área test se in-

terpreta en esta combinación de bandas con mayor seguridad que en las combinaciones descritas. La expresión superficial de la humedad del suelo es captada por los sensores del TM y se manifiesta como una característica diferenciativa del perfil del suelo. Las tonalidades rojizas que presentan algunas ocupaciones del suelo ayudan también en la fotointerpretación del área test.

#### 6.4. Falso color 3, 5, 7

Esta composición coloreada pone de manifiesto, una vez más, la importancia de las bandas infrarrojas en la mejora de la visualización de las redes de drenaje y redes de carreteras. Los patrones de suelos no se presentan tan contrastados como los observados en otras composiciones y esta es la causa para que la fotointerpretación de esta imagen sea más difícil en la extracción de información.

Tiene especial importancia decir que se percibe la erosión y sedimentación de la pequeña cuenca del arroyo de la casa Mingo con una precisión similar a la conseguida por una foto aérea obtenida desde avión.

#### 7. Evaluación de resultados

Los resultados del análisis de la escena del área test de Navalcarnero, captada por los sensores TM del satélite Landsat-5, indican la utilidad que una imagen de satélite tiene para la interpretación y reconocimiento del terreno desde un punto de vista edafológico. El análisis individualizado de las bandas originales aporta al estudioso de las ciencias de la naturaleza rasgos y características imposibles de obtener a través de la interpretación de otras fuentes de información. Detección con precisión de áreas de suelos cubiertas por vegetación, variabilidad del mosaico de usos distintos del suelo, rasgos geográficos del terreno, indicación de áreas de suelos con posibilidad de estar afectadas por procesos de erosión y condiciones hídricas del

perfil del suelo, son algunos de los resultados obtenidos en la interpretación de las bandas originales. La información que aportan las bandas de los sensores TM para la caracterización y reconocimiento de suelos tiene una especial importancia en la detección de la red de drenaje y en la diferenciación de suelos cuyos horizontes superficiales están afectados por procesos de erosión.

El análisis de componentes principales, al concentrar la información válida y evitar la información redundante, tiene ventajas desde un punto de vista práctico, al favorecer las tareas de fotointerpretación y tratamiento con ordenador de los datos. Específicamente, la utilización práctica de los componentes principales hay que focalizarla en los aspectos de conservación de suelos. Hemos comprobado su importancia en la detección de áreas del terreno sometidas a un proceso de erosión del suelo, pero no hay que ocultar la pérdida de información en aspectos básicos de interpretación. La reducción del ruido de la imagen y consiguiente acumulación de información en los "Componentes Principales" menos correlacionados se manifiesta en los tres primeros componentes. Utilizando los mejores componentes principales en composiciones coloreadas se obtienen resultados interesantes en la percepción de características geográficas del área test.

Las combinaciones de bandas que más información aportan para su utilización por estudiosos del suelo y disciplinas complementarias son aquellas que presentan con mayor intensidad propiedades y características, detectables en el falso color de la imagen, y que son consecuencia de la disposición morfológica de los perfiles de suelos o de su composición mineralógica. La utilización de las bandas 2,3,4 y 1,2,3 son complementarias, pero si hemos de evaluar los resultados obtenidos hay que expresar como mejores combinaciones de bandas las que introducen valores es

pectrales que cubren la parte infrarroja del espectro. El análisis de las imágenes de falso color, obtenidas combinando las diferentes bandas, permite diferenciar los patrones de suelos que integran las unidades cartográficas. La expresión superficial de la humedad del perfil en las combinaciones de bandas cuyos rangos cubren la zona infrarroja del espectro electromagnético es una cualidad observable de gran interés edafológico que se pone de manifiesto en la combinación de las bandas 3, 5 y 7 del sensor TM.



Fig. 1. Primer componente principal.

## 8. Bibliografía

- AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY (1983). "Manual of Remote Sensing". Volume I and II. Second Edition. Falls Church, Virginia.
- CENTRO DE INVESTIGACION U.A.M.-IBM (1981). "Tratamiento Digital de Imágenes y sus Aplicaciones". Madrid.
- LABRANDERO, J.L. and PALOU, F.(1980). "Application of Principal Component Analysis to Soil Survey in Central Spain". Intern. Arch. of Photogram. Vol. XXIII, pag. 518-529.