

# Evolución del paisaje en la cuenca baja del río Jarama

## *Landscape evolution in the lower Jarama river basin*

M.<sup>a</sup> Eugenia PÉREZ GONZÁLEZ, M.<sup>a</sup> del Pilar GARCÍA RODRÍGUEZ

Dpto. Análisis Geográfico Regional y Geografía Física. Facultad de Geografía e Historia  
Universidad Complutense.

Recibido: 26 de septiembre de 2002

Aceptado: 7 de abril de 2003

### RESUMEN

Este estudio describe y analiza el paisaje natural y antrópico del sudeste de Madrid durante los últimos catorce años. La comarca, localizada en la cuenca baja del río Jarama, se caracteriza en conjunto por ser uno de los sectores de menor valor paisajístico dentro de la Comunidad de Madrid, por la escasa evolución de los suelos y alta degradación, lo que ha favorecido una intensa presión antrópica. El tratamiento de imágenes multitemporales del satélite Landsat, junto al análisis de fotografías aéreas de detalle y trabajo de campo, han permitido cartografiar las principales unidades de paisaje y analizar su evolución. Se hace especial hincapié en los pequeños enclaves de bosques esclerófilos mediterráneos en sus distintas etapas de evolución.

### PALABRAS CLAVE

Paisaje  
Teledetección  
Degradación  
de suelos  
Madrid

### ABSTRACT

This work aims to describe and to analyse natural and anthropic landscape in south-east of Madrid during the last fourteen years. The area is located on lower Jarama's basin, inside the Community of Madrid, and is characterized by its little landscape value, as well as thin and highly degraded soils, which facilitates an intensive anthropic action. The multitemporal images of Landsat satellite processing, the aerial photographs analysis and field work allow us to map the principal units of landscape and to analyse their temporal evolution. We stress the importance of small areas of mediterranean forest in different evolution stages.

### KEY WORDS

Landscape  
Remote  
Sensing  
Soil  
degradation  
Madrid

**SUMARIO** 1. Introducción. 2. Área de estudio. 3. Material y métodos. 4. Resultados y discusión. 5. Conclusiones. 6. Referencias bibliográficas.

---

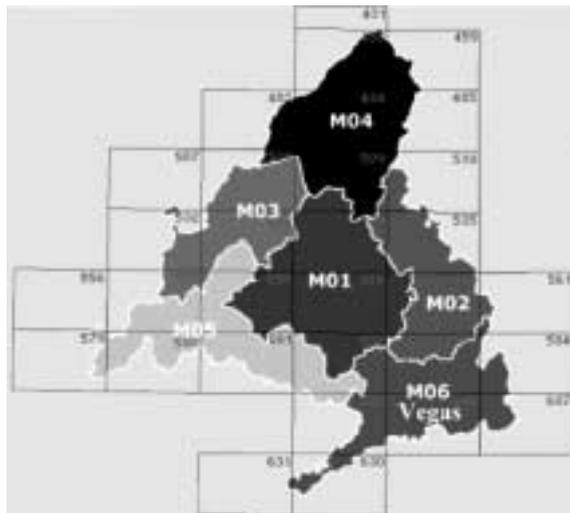
\* Financiado con el Proyecto Complutense: PR-48-019852.

## 1. Introducción

El presente trabajo tiene como objetivo analizar la evolución de la vegetación natural en el sudeste de Madrid, en el sector de la cuenca baja del río Jarama, entre San Martín de la Vega y Titulcia. Este área destaca dentro de la Comunidad Autónoma madrileña como una de las de peor calidad ambiental, por el escaso desarrollo de los suelos (excepto los de vega), alta erosión de los mismos, predominio de series esclerófilas degradadas e intensa actividad antrópica, tanto urbanística como industrial, especialmente de graveras y canteras. No obstante todavía se conservan algunos enclaves de bosque mediterráneo, constituido principalmente por encinares y coscojares con una densidad entre media y alta. El trabajo trata de resaltar principalmente los cambios en las superficies de las diferentes unidades de vegetación a partir de imágenes del satélite, fotografías aéreas en color y trabajo de campo. La confrontación de fuentes cartográficas de distintas escalas, junto a la amplia información del espectro electromagnético, ofrecida por las imágenes de satélite, permite detallar las distintas unidades de vegetación y conocer su estado.

## 2. Área de estudio

El estudio se localiza en la Comunidad Autónoma de Madrid, al sudeste de la capital en la comarca de Vegas (denominada Mo6 por la CAM, fig. 1). Se sitúa entre los ríos Jarama y Tajuña, próximo a la desembocadura de los ríos Henares y Manzanares por el norte y al Tajo por el sur.



**Figura 1.** Comunidad de Madrid, localización de la comarca de Vegas (Mo6). Fuente: <http://leu.irnase.csic.es/>

La litología del sector analizado está conformada por materiales terciarios y cuaternarios, alcanzando las mayores extensiones los sedimentos detríticos y químicos del mioceno (margas, yesos y arcillas). Los yesos confieren un carácter singular al paisaje, con tonalidades grises,

escasa cubierta vegetal y una geomorfología caracterizada por escarpes con fuertes procesos de acarreamiento. Frente a ellos, las fértiles vegas del Jarama y Tajuña, dan una pincelada de color y riqueza, con parcelas dedicadas a cultivos hortícolas.

El clima es mediterráneo templado, con una ETP que supera ampliamente a las precipitaciones, que oscilan entre 400 y 600 mm anuales. La temperatura media anual está comprendida entre 12<sup>o</sup> y 16<sup>o</sup>C.

Las diferentes unidades de vegetación se distribuyen sobre distintas asociaciones de suelos, aunque dominadas por la presencia de gypsisoles. Para analizar la distribución de suelos y clases agrológicas se han utilizado los mapas de Monturiol y Alcalá (1990 a y b): asociados a los gypsisoles, al este del Jarama, entre Titulcia y Arganda se localizan leptosoles, cambisoles, calcisoles y algunos luvisoles. En concreto, en la margen derecha del Tajuña, entre los núcleos de Titulcia y Morata de Tajuña, se desarrollan gypsisoles cálcicos asociados a calcisoles háplicos. Los cambisoles calcáricos se desarrollan sobre arcillas y margas en algún caso yesíferas. Los leptosoles sobre calizas, margas y algunos yesos y limos y cantos calcáreos de coluvión; en la mayor parte de los casos son leptosoles rendsinicos o mólicos asociados en algunos puntos a calcisoles pétricos. Los calcisoles háplicos se encuentran asociados a las otras unidades de suelos sobre materiales calcáreos e, incluso, en algunos puntos, sobre terrazas. En las proximidades del municipio de Titulcia, hacia el norte se extiende una pequeña mancha de regosoles calcáricos desarrollados sobre materiales calcáreos, margas y yesos. En las vegas de los dos ríos se desarrollan fluvisoles.

Las clases agrológicas a las que corresponden estos suelos son las C y D, con problemas de erosión y/o espesor. La C aparece en el área más próxima al Jarama donde los suelos tienen mayor espesor y la D en el resto. En la vega del Jarama los suelos son clase A y en las del Tajuña clase B (puesto que ya presenta pequeños problemas de erosión). En los gypsisoles de la clase D además del problema de la erosión se encuentran con una limitación debida a la salinidad. En general son suelos con poco espesor, frágiles y fácilmente degradables, que, en muchos casos, están desapareciendo por erosión antrópica.

La vegetación es característica de la región mediterránea, condicionada por la litología y la aridez, en consonancia con la provincia a la que pertenece: castellano-maestrazgo-manchega, sector manchego (Peinado y Rivas, 1987).

En el mapa de la CAM (1999) las clases de vegetación y usos del suelo en el área de estudio son poco precisas e incorrectas, puesto que sólo diferencian dos unidades de cultivos: «cultivos» y «mosaico de cultivos», sin hacer distinción entre los regadíos y secanos. Además la unidad correspondiente a «matorral» que ocupa amplísimas extensiones entre los ríos Jarama y Tajuña, se refiere a dos cubiertas de vegetación claramente diferenciadas, tanto mediante imágenes de satélite como por fotografías aéreas y trabajo de campo: encinar y matorral gypsícola. Junto a estas, la clase correspondiente a frondosas caducifolias y marcescentes, localizadas básicamente junto a los ríos y en la laguna de San Juan, está sobredimensionada. Por esta razón, uno de los objetivos de este trabajo es discriminar, dentro de estas unidades tan

genéricas, los diferentes usos del suelo y formaciones naturales, relacionándolas con los distintos tipos de suelos y litologías. Para ello, en este área se han definido las siguientes unidades de vegetación natural y cultivos:

Unidades de vegetación:

- Frondosas de hoja perenne: encinar y coscojar con densidad entre media y alta con buena cobertura de matorral basófilo, con un sotobosque de matorral xerófilo de tomillos y romeros.
- Matorral degradado sobre gypsisoles, en la margen derecha del Jarama y ambos márgenes del Tajuña constituidos principalmente por esparto.
- Vegetación de ribera caracterizada por frondosas caducifolias.
- Vegetación higrófila de la laguna de San Juan, formada básicamente por carrizales y algunos pies de tarayes.
- Olivares y viñedos.
- Regadíos.
- Cereales de secano.

En cuanto a usos de suelo, además del uso forestal y agrícola destacan la presencia de :

- Graveras y canteras.
- Uso urbano e industrial.
- Agua.

### 3. Material y métodos

Las diferentes cubiertas y usos de suelo entre el Jarama y el Tajuña han sido analizadas mediante fotografías aéreas, trabajo de campo y análisis visual y digital de imágenes de satélite.

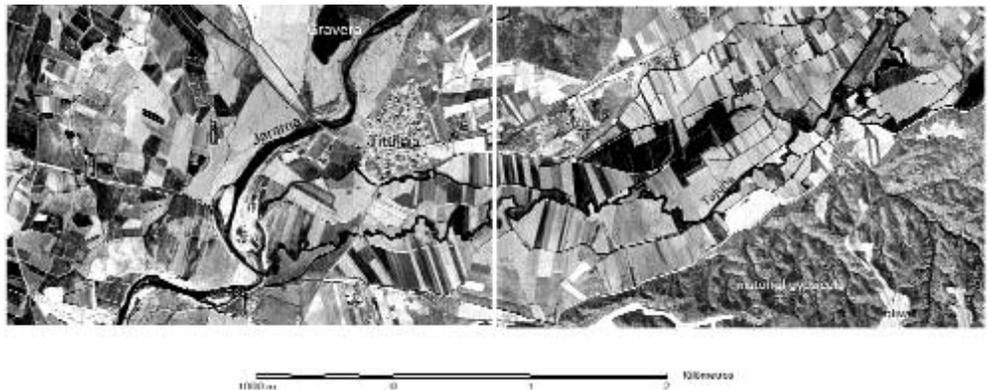
Las fotografías aéreas utilizadas corresponden a los fotogramas en color natural de las Hojas 605 y 606 a escala 1:5.000 y las ortofotos de las mismas Hojas, pasadas 7 y 8. Este vuelo fue realizado en junio de 1992.

Para conocer la evolución de las distintas unidades de paisaje se han seleccionado las siguientes imágenes Landsat de los sensores TM y ETM:

Fecha	Satélite	Sensor	Resolución espacial	Resolución espectral
11-8-87	Landsat 5	TM	30 m	7 canales
20-8-99	Landsat 7	ETM+	30 m y 15 m (pancro)	8 canales y 1 pancromático
06-6-01	Landsat 7	ETM+	30 m y 15 m (pancro)	8 canales y 1 pancromático
10-9-01	Landsat 7	ETM+	30 m y 15 m (pancro)	8 canales y 1 pancromático

Para el tratamiento de las imágenes de satélite se ha utilizado el programa ERDAS Imagine 3.1, efectuando una referenciación de la imagen a coordenadas UTM, así como numerosas mejoras radiométricas, espectrales y espaciales.

La identificación de las diferentes unidades de vegetación y usos del suelo se ha realizado a partir de las imágenes en color natural (3-2-1, en los cañones de color R-V-A) y falsos colores (realizados mediante distintas combinaciones de los canales visibles e infrarrojos próximos y medios). A su vez se han establecido distintos cocientes entre bandas y relaciones entre las mismas (índices de vegetación, índices minerales, componentes principales, etc.) para discriminar los distintos tipos de cubiertas vegetales. Aquí se han seleccionado las imágenes que mejor destacan en blanco y negro, tanto entre combinaciones de bandas (seleccionando la mezcla 3,2,1, fig.2), como entre cocientes (fig. 3 y 4).



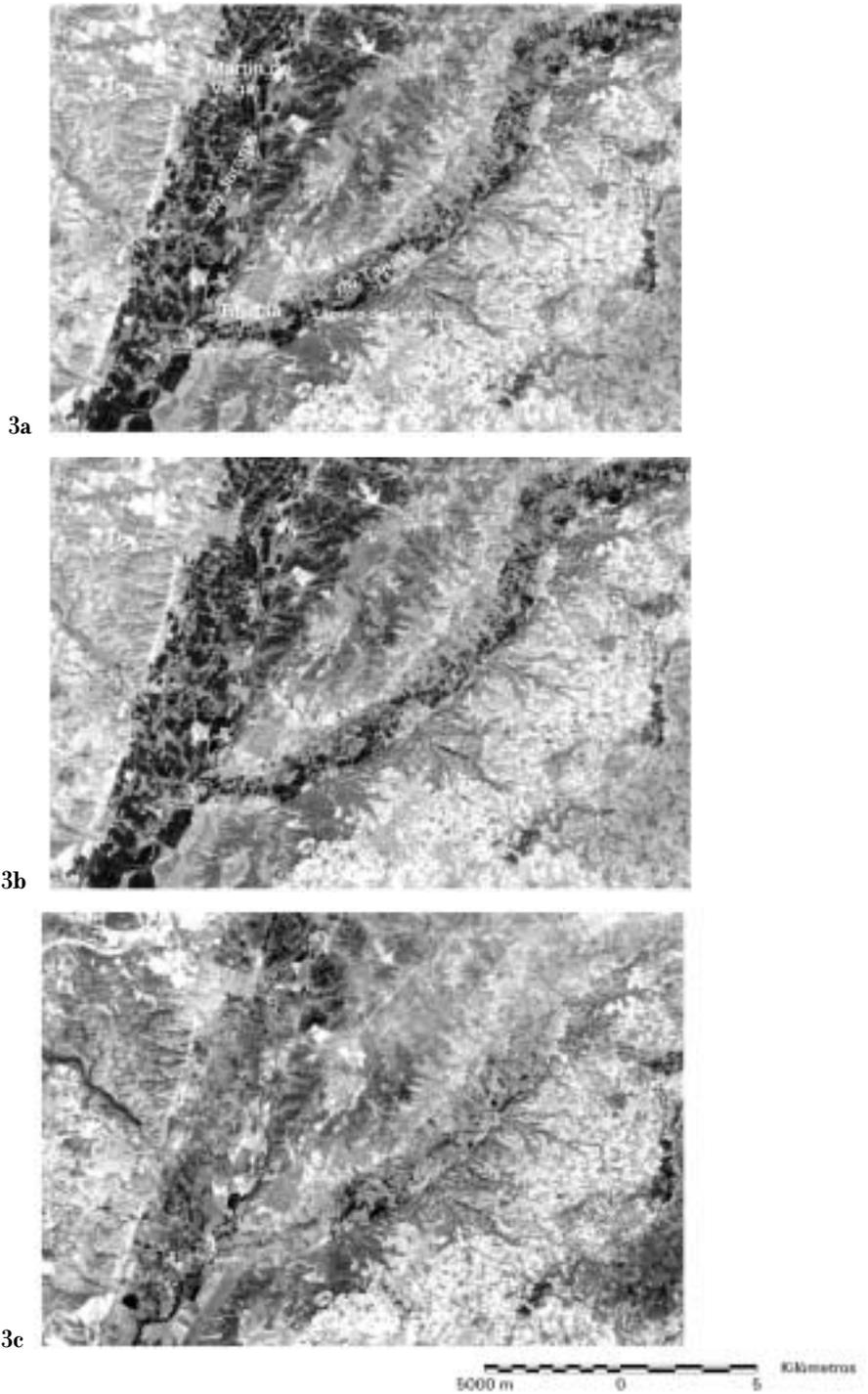
**Figura 2.** Ortofotos 605, 7-2 y 8-2.

En el tratamiento digital se han seleccionado las clases informacionales más representativas, obteniendo sus perfiles espectrales para todas las bandas salvo los canales térmicos (6 y 8) y analizando sus estadísticos básicos.

#### **4. Resultados y discusión**

##### *4.1. Análisis visual de las fotografías aéreas e imágenes de satélite*

Las fotografías aéreas a escala de detalle permiten cartografiar los distintos usos de suelo, diferenciando todos los tipos de cultivo que, en muchos casos, es imposible discriminar mediante las imágenes de satélite. Este es el caso de las parcelas con olivar, viñedo, o de los cultivos bajo plástico (Fig. 2.). A su vez cabe destacar la intensa actividad agrícola en toda la llanura de inundación de los ríos Jarama y Tajuña, con predominio de cultivos hortícolas y cereales. Frente a ellos la vegetación de ribera es muy dispar entre ambos ríos: abundante y de porte arbóreo en el tramo bajo del río Tajuña y apenas existente en el mismo tramo de río Jarama, pues las especies arbó-



**Figura 3.** Imágenes Landsat, 3-2-1. 3a: TM, 11-8-1987. 3b: ETM, 20-8-1999. 3c: ETM, 06-6-2001.

reas y/o arbustivas sólo están presentes en pequeños enclaves, existiendo grandes tramos sin vegetación natural. También en los materiales yesíferos se pueden diferenciar los sectores recubiertos sólo de matorral, de aquellos en los que se combinan los estratos arbustivos y algunas encinas con escasa densidad, y en la que es posible individualizar cada ejemplar. Las fotografías aéreas, al permitir la visión estereoscópica, facilitan la detección y cartografía de las áreas degradadas, tanto por causas naturales (cárcavas), como antrópicas (canteras y graveras). No obstante, tienen el inconveniente de la baja resolución temporal, por lo que para conocer la evolución reciente de las distintas unidades paisajísticas (cárcavas, encinares, matorral esclerófilo, humedales, vegas, vegetación de ribera, etc.) se requiere fuentes de información adicionales.

Así, las imágenes multitemporales de satélite, aún con menor resolución espacial, permiten obtener una visión general, analizar la evolución de las unidades seleccionadas y efectuar un análisis espectral. Del análisis de las distintas combinaciones entre bandas se deduce una serie de cambios en el paisaje del sector estudiado. Uno de los más destacados se localiza en la margen izquierda del Jarama, enfrente del municipio de San Martín de la Vega, donde se desarrollan los mejores bosques esclerófilos del sudeste de Madrid, se observa a lo largo de la serie analizada que hay un importante retroceso en la extensión de los encinares, especialmente significativo en las cabeceras de los pequeños arroyos que desembocan en el río Jarama, debido a la explotación de canteras; éstas apenas son visibles en el año 87, pero en el 99 y, especialmente, en el 2001 se han incrementado mucho. Por el contrario, junto a la vega del río Tajuña, en su margen derecha, con menos densidad de vegetación, ha habido una cierta recuperación de la superficie arbustiva. Las parcelas dedicadas a cultivos de secano y regadío disminuyen a favor de infraestructuras viarias y áreas residenciales.

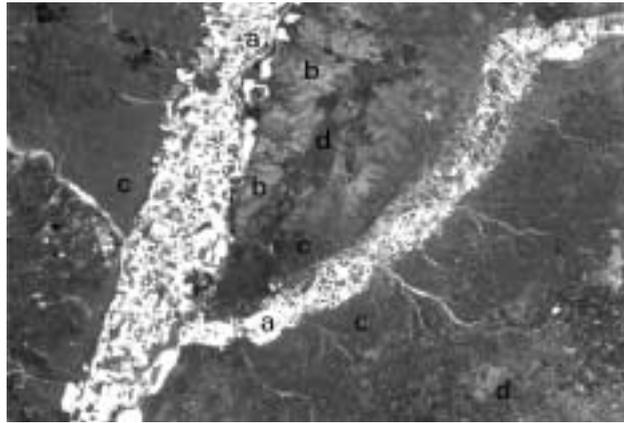
En las imágenes en color natural (fig. 3) la vegetación de ribera y los regadíos aparecen en tonos muy oscuros, confundiendo con las masas de agua (graveras y laguna) de las que sólo se distinguen por su estructura geométrica. En tonos grises aparecen las cubiertas con encinas y las de matorral xerófito, siendo ambas difíciles de discriminar entre sí, si no se utilizan imágenes en color y, especialmente, aquellas combinaciones en las que entran los infrarrojos. Por el contrario, se diferencian con nitidez, en tonos claros, los suelos desnudos o con recubrimiento vegetal muy escaso: parcelas de cereales en secano, eriales, pastos malos, infraestructuras, canteras, construcciones urbanas, etc.

#### 4.2. *Análisis digital de las imágenes de satélite*

Los índices entre distintas bandas nos ofrecen información sobre los cambios acaecidos a través del tiempo en las distintas cubiertas:

- El *índice de vegetación* (banda 4 / banda 3) sólo permite diferenciar las cubiertas de vegetación con alta actividad clorofílica y gran cobertura vegetal (regadíos y vegetación de ribera). Estas superficies, localizadas en las vegas y cauces de los ríos se muestran casi blancas, frente a los tonos oscuros del resto del área estudiada. Este índice no es válido

para diferenciar sectores con escaso recubrimiento vegetal. Sin embargo el índice de vegetación normalizado (NDVI, banda 4+ banda 3/ banda 4-banda 3), fig.4, mejora los resultados de la imagen anterior al permitir diferenciar las cubiertas con una actividad clorofílica media, aún cuando se refleje la interferencia del suelo. En las imágenes correspondientes a los NDVI se identifican tres grandes grupos de cubiertas vegetales, además de los suelos desnudos (Fig. 4a):



**Figura 4.** Índice de Vegetación Normalizado (NDVI). **4a:** 11-08-1987.

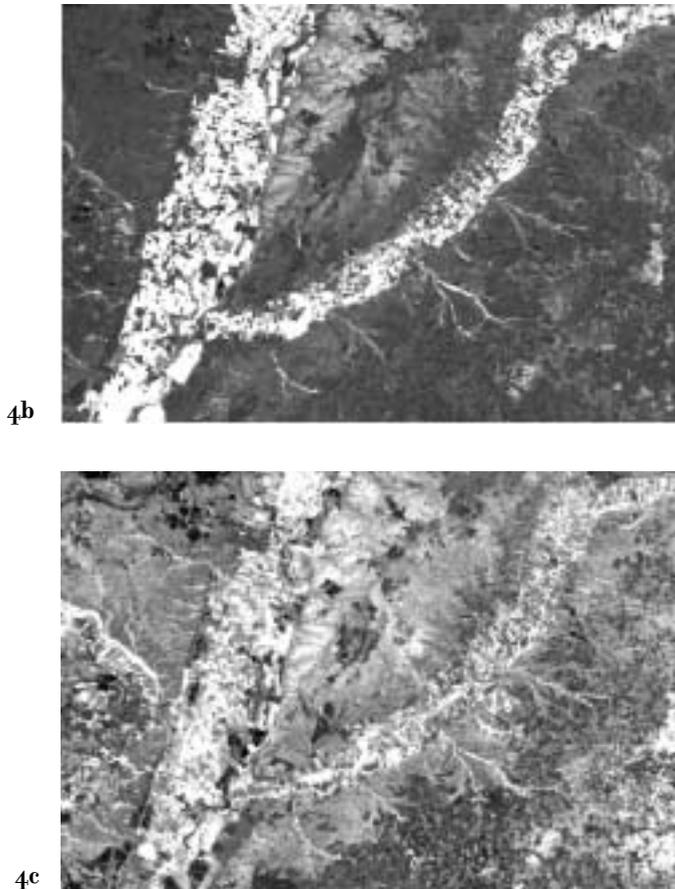
- vegetación de ribera (a), tanto cultivada como natural
- bosque esclerófilo mediterráneo (b)
- matorral degradado (c)
- pastizal-erial (d)

Los valores digitales medios de los NDVI para los cinco tipos de cubierta que tienen vegetación están recogidos en la tabla 1.

**Tabla 1: Valores digitales en las distintas fechas analizadas**

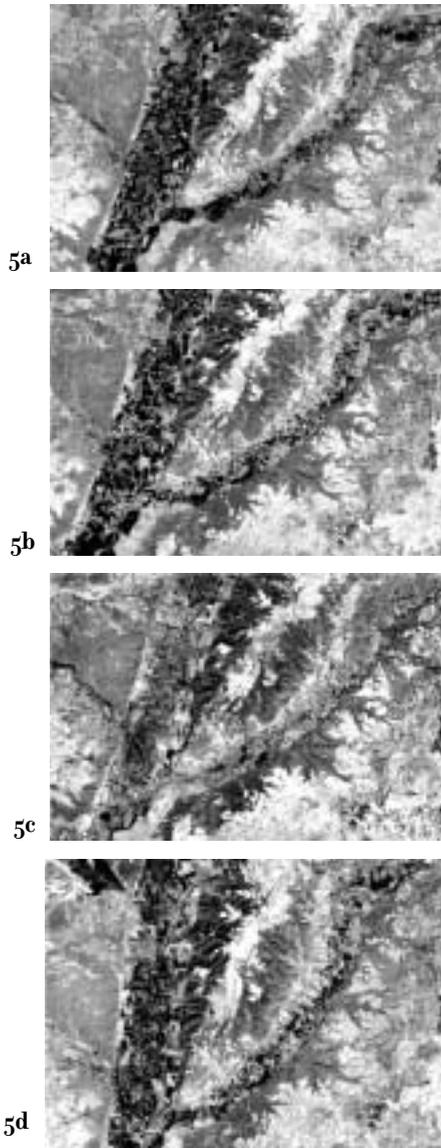
	Agosto 1987	Agosto 1999	Junio 2001	Sept. 2001
Regadío	0,48	0,55	0,21	0,23
Veg. Higrófila	0,37	0,54	0,27	0,11
Encinar	0,17	0,20	0,04	-0,03
Espartal	0,10	-0,08	-0,16	-0,18
Pastizal-erial	0,01	-0,04	-0,18	-0,24

De estos datos se deduce que tanto el regadío como la vegetación higrófila tiene valores más altos en los meses de agosto. Son llamativos los valores tan bajos del encinar-coscojar, especialmente en el año 2001, aunque visualmente sí se distinguen de otras cubiertas por los tonos más claros (fig. 4b y c). El espartal y pastizal-erial presentan números digitales muy bajos, propios de suelos casi desnudos o con vegetación rala muy seca. Comparando los años 1987 y 1999, ambas fechas en agosto, se observa que hay un aumento en el año 99 en los valores del NDVI en la vegetación higrófila, de regadío y encinar y, sin embargo, una disminución en los valores del pastizal-erial y del espartal. Visualmente, la mejor fecha para discriminar las cubiertas de vegetación natural frente a los suelos cultivados y desnudos es junio; en esta fecha los matorrales de esparto se cartografían con nitidez frente a las parcelas cerealísticas; además en este mes se delimita muy bien la vegetación higrófila de los ríos tributarios del Jarama y Tajuña. Así, salvo para los cultivos de regadío la mejor imagen obtenida mediante NDVI es la de junio, ya que permite observar la heterogeneidad del área de estudio.



**Figura 4.** Índice de Vegetación Normalizado (NDVI). **4b:** 20-08-1999. **4c:** 06-06-2001.

- El cociente 3/1 (fig. 5 a, b, c, d) permite destacar las superficies de espartales, localizadas en las cárcavas yesíferas, con total nitidez. En esta combinación no se diferencian bien las cubiertas de encinar-coscojar de las parcelas ocupadas por regadíos ya que el tono de ambas es oscuro; no obstante, la textura es diferente, por lo que es posible la separación. También se delimitan claramente los suelos desnudos o con pastizal-erial. La extensión del espartal



**Figura 5.** Cocientes entre bandas. **5a:** Banda 3/Banda 1, 11-8-1987. **5b:** Banda 3/Banda 1, 20-8-1999. **5c:** Banda 3/Banda 1, 06-6-2001. **5d:** Banda 3/Banda 1, 10-9-2001.

y del encinar-coscojar, comparando las distintas fechas, se mantiene prácticamente constante en su perímetro, pero las imágenes permiten localizar, en su interior, el avance de las graveras; por consiguiente, las variaciones más notables se producen en los usos antrópicos del terreno. Este cociente, al resaltar la humedad, delimita perfectamente el cauce de los ríos principales y las graveras a ellos asociadas. En junio, al no estar los regadíos en pleno desarrollo, destacan con claridad los cuerpos de agua, graveras y laguna de San Juan: por tanto esta fecha es ideal para cartografiar las masas de agua y conocer su evolución.

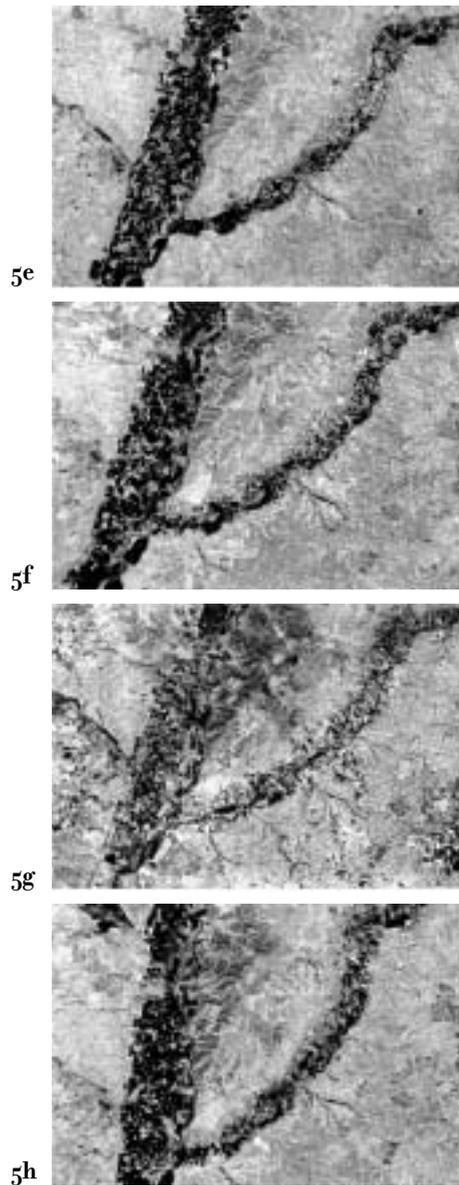
- La relación 5/4 (fig. 5 e, f, g, h) ofrece menos contraste visual que la 3/1, resaltando sólo aquellas superficies que tienen una altísima actividad clorofílica y cobertura vegetal (tonos oscuros) frente al resto de materiales apenas diferenciables entre sí (colores claros, debido a la influencia del suelo). Los cultivos de las vegas del Jarama y Tajuña adquieren tonalidades tan oscuras que no se diferencian del agua, por lo que en esta combinación no es posible cartografiar las masas de agua. Espartales y suelos desnudos apenas se diferencian, pero sin embargo, la formación de encinar es posible distinguirla, porque resaltan las cárcavas a ellas asociadas. Así, esta combinación es útil para distinguir cubiertas vegetales vigorosas, pero nunca aquellas en que el suelo produce una gran interferencia. Este cociente resalta la evolución de las cárcavas a través del tiempo, con un incremento de la red pinnada encajada en los sedimentos margo-yesíferos.

Por último se comentan brevemente algunas relaciones entre bandas, no recogidas en las figuras, pero que ofrecen información sobre la distribución y estado de las distintas cubiertas:

- La relación banda 5 – banda 7 (índice de arcillas), diferencia perfectamente la vegetación de regadío e higrófila, con tonos muy claros. También se aprecian los encinares debido a que el suelo es más rico en arcillas que el de los espartales, que se desarrollan sobre materiales yesíferos. Se destacan claramente los sectores más degradados por los tonos muy oscuros.
- El índice mineral (banda 5/banda 7, banda 5/banda 4, banda 3/banda 1) no resulta útil para identificar la vegetación pero sí discrimina muy bien las áreas más erosionadas (García y Pérez, en prensa), con tonos gris oscuro.
- El análisis en componentes principales, considerando seis componentes, ofrece imágenes temáticas muy contrastadas. Se delimitan con precisión: los cauces fluviales y cuerpos de agua, tanto graveras como lagunas; las diferentes cubiertas vegetales, así como los cambios acaecidos en cada una de ellas; y por último, también son claramente visibles los procesos de erosión y formación de cárcavas.

### *Perfiles espectrales*

Se han analizado los valores espectrales de las distintas unidades de vegetación y del suelo, tomando distintas áreas de muestreo para cada clase. Estas corresponden a:



**Figura 5.** Cocientes entre bandas. **5e:** Banda 5/Banda 4, 11-8-1987. **5f:** Banda 5/Banda 4, 20-8-1999. **5g:** Banda 5/Banda 4, 06-6-2001. **5h:** Banda 5/Banda 4, 10-9-2001.

- regadíos, seleccionados en las vegas de los ríos Jarama y Tajuña
- vegetación higrófila, en la laguna de San Juan y en las riberas
- encinar-coscojar, desarrollado sobre calcisoles y leptosoles próximos a la vega del margen izquierda del Jarama

- espartales situados sobre los cerros gypsícolas próximos a ambos márgenes del río Tajuña
- pastizales, repartidos por toda la comarca con tonos muy claros en las imágenes
- canteras
- agua, presente en la laguna de San Juan y en algunas graveras

Los valores espectrales medios de cada clase se recogen en los gráficos de la fig. 6. En ellos se incluyen las seis bandas del TM y ETM correspondientes al espectro visible (canales 1, 2, 3) e infrarrojos próximos y medios (4, 5 y 7), en las cuatro fechas seleccionadas.

En la figura 6a correspondiente a agosto de 1987 los cultivos de regadío presentan una respuesta característica de vegetación en pleno crecimiento, con valores muy altos en el canal 4 y una relación 4/3 y 4/5 elevada. Un perfil similar tiene la vegetación higrófila con alta densidad arbustiva y arbórea, salvo que la relación 4/5 es menor que en la clase anterior por tener sectores con carrizales muy secos que le confieren valores más altos en el canal 5. Los sectores de encinar-coscojar ofrecen valores inferiores en la banda 4 que en la 5, por lo que se refleja más el suelo que la cubierta vegetal. Las clases correspondientes a espartal, pastizal y canteras mantienen perfiles muy similares, con valores tanto más altos conforme desciende el recubrimiento vegetal del suelo. Es significativo que en suelos muy desnudos, secos y de tonos muy claros, la reflectividad sea alta en los canales del infrarrojo (5) y visibles (3 y 1), destacando también la elevada relación entre los canales 5/4 y 5/7. Por último, los números digitales de la clase agua, señalan un vaso lagunar con una lámina somera y con pequeñas interferencias de vegetación y suelo con escasa cobertura, que interfieren en números digitales de las bandas infrarrojas (4 y 5) similares a los visibles (2 y 3), aunque todos ellos inferiores a 50.

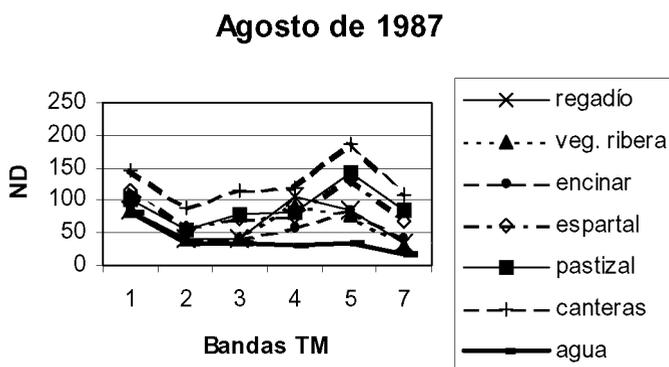


Figura 6a. Perfiles espectrales.

En la figura 6b, agosto de 1999, llama la atención la elevada respuesta de la vegetación de ribera e higrófila de la laguna de San Juan, con valores en el canal 4 próximos a 175 y una altísima relación entre los canales 4/3 y 4/5, superiores incluso a los de los regadíos. Esto indica una mayor masa vegetal, posiblemente más extendida a partir de las medidas de protección y gestión de la declaración de la laguna como refugio de fauna en 1991 (Durán, 1998), encaminadas tanto a la recuperación de la lámina de agua como de la superficie vegetal (carrizales y tarayes principalmente). La clase informacional del encinar presenta números digitales superiores a la imagen del 87, aunque todavía el canal 4 con valores más bajos que la banda 5. No obstante, puntualmente hay sectores con mayor respuesta en el infrarrojo próximo que en el medio, pero no llega a afectar a los valores medios que se recogen en el gráfico. Los perfiles del espartal, pastizal y las canteras vuelven a ser similares, con valores más altos lógicamente en las últimas, por la mayor reflectancia del suelo totalmente desnudo, con números digitales elevados en los canales infrarrojos medios y en el rojo del espectro visible. El perfil tomado en la laguna de San Juan refleja una altísima proporción de vegetación higrófila que influye en los valores propios del agua, con valores altos en la banda 4 y una lámina de agua somera.

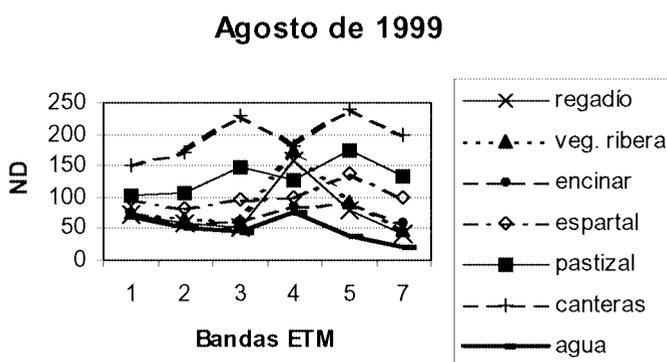


Figura 6b.

Cabe destacar un cambio sustancial en las respuestas de los canales visibles entre la imagen del TM (87) y las de ETM (99 y 2001), con valores muy altos en el canal 3 y considerablemente menores en el canal 1. Esto puede ser debido al cambio de hora de pasada del satélite entre los sensores TM y ETM, de modo que las imágenes del ETM (tomadas a las 11 horas, TMG) reflejan menor humedad en el suelo y en la atmósfera, que las del TM, ya que el área de estudio, al estar en las cuencas bajas de los ríos Tajuña y Jarama tiene habitualmente brumas y nieblas de irradiación y evaporación.

Analizando los valores del año 2001 en los meses de junio y septiembre (fig. 6 c y d) se observa que los perfiles espectrales del agua muestran mayor profundidad en el vaso lagunar en septiembre que en junio, lo que demuestra un claro manejo del volumen de agua de la laguna, manteniéndola en verano, para el óptimo crecimiento de las crías de las especies de avifauna. Los perfiles de junio y septiembre siguen mostrando en el agua interferencias de la vegetación (por los valores en los infrarrojos próximos y medios superiores a 30), aunque con mucha menos respuesta de la clorofila que en 1999, por lo que los valores de la banda 4 son más bajos. La clase del encinar muestra menor reflectancia en el canal 4 que en el 5, lo que parece indicar un grado de cobertura entre medio y bajo, con interferencia del suelo. Al igual que en la imagen de 1999

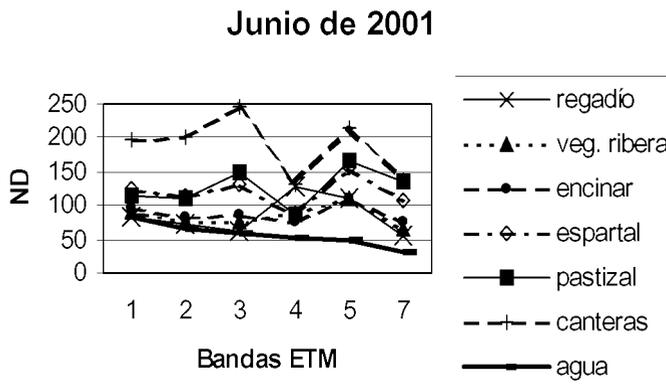


Figura 6c.

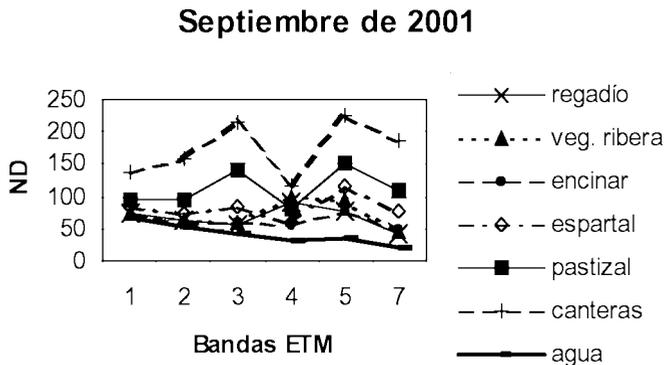


Figura 6d.

las clases correspondientes a canteras, pastizales y espartales, mantienen perfiles con forma casi idéntica, pero con notables diferencias en los valores digitales de cada clase, por lo que las tres gráficas se separan con claridad. Destaca en los tres perfiles la altísima reflectancia en el infrarrojo medio (canal 5) y en el espectro visible (canal 3). La diferencia más notable entre los dos meses se observa al analizar la vegetación higrófila y de ribera: en junio apenas está desarrollada, por lo que su respuesta en el infrarrojo próximo es débil (valores en torno a 80); sin embargo, en el mes de septiembre, con mayor volumen de agua en la laguna de San Juan, la respuesta espectral es más alta en este canal, superando incluso los valores del regadío.

## 5. Conclusiones

El uso combinado de imágenes de satélite, fotografía aérea y trabajo de campo, permite hacer un análisis detallado de los cambios acaecidos en el paisaje. Actualmente, la disponibilidad de fotografías aéreas digitales de toda la Comunidad de Madrid es un gran apoyo cuando se desean ver cambios a gran escala, no apreciables mediante los satélites convencionales (y económicamente asequibles), debido a su menor resolución espacial.

El seguimiento de este espacio a través de imágenes de satélite a lo largo de catorce años ha permitido conocer y localizar el gran incremento de canteras dedicadas a la extracción de cal y yesos que ocupan, en parte, los escasos enclaves de vegetación natural arbórea. Por el contrario, se advierte una tendencia hacia la recuperación de antiguas graveras como humedales, favoreciendo con ello un notable aumento de espacios acuáticos en la Comunidad de Madrid, de mayor valor paisajístico.

El tratamiento digital de las imágenes de satélite permite cartografiar perfectamente la vegetación higrófila (arbórea y arbustiva), tanto de los ríos principales como de los pequeños arroyos que descienden a través de las cárcavas yesíferas. Para ello resultan muy útiles las imágenes en falso color, utilizando los canales infrarrojos y el NDVI.

Exceptuando la vegetación higrófila y los regadíos, en estas imágenes apenas destacan otras cubiertas vegetales, ya que sus valores espectrales quedan enmascarados por la alta reflectividad del suelo, aún en primavera. Esto es debido al escaso recubrimiento vegetal y a los tonos claros de los materiales. A pesar de ello, es posible cartografiarlas y hacer un seguimiento de las mismas tanto mediante un análisis visual como considerando sus perfiles espectrales.

Las masas de agua (cauces fluviales, lagunas, etc.) se visualizan mejor en las imágenes obtenidas con el cociente 3/1 y con seis componentes principales. La mejor fecha para hacer un seguimiento de las mismas es junio, ya que no se confunden con los regadíos.

Por último, aunque los cambios más importantes observados a lo largo de estos años son debidos a la acción antrópica (construcción de viviendas, infraestructuras viarias y áreas de ocio), puede concluirse que este sector del sudeste madrileño conserva en la actualidad varios enclaves paisajísticos de alto valor, especialmente el encinar-coscojar, los humedales y la ribera del río Tajuña. No obstante, el tramo bajo del río Jarama precisaría de medidas de restauración encaminadas a recuperar la vegetación de ribera, pues son puntuales los sectores que la tienen.

## 6. Referencias bibliográficas

C.A.M.

- 1999 Documentación Parque Regional del Sureste. Consejería de Medioambiente. Cartografía Regional de Espacios Naturales. Madrid.

DURÁN, J. J. (Ed.).

- 1998 *Patrimonio Geológico de la Comunidad Autónoma de Madrid*. Sociedad Geológica de España y Asamblea de Madrid, 290 pp.

GARCÍA RODRÍGUEZ, M.<sup>a</sup> P. y PÉREZ GONZÁLEZ, M.<sup>a</sup> E.

- en prensa Discriminación de gypsisoles mediante el sensor ETM del satélite Landsat 7. *Edafología*.

MONTURIOL, F. y ALCALÁ, M.

- 1990a *Mapa de Asociación de Suelos de la Comunidad de Madrid* 1:200000. CAM. Madrid.  
1990b *Mapa de clases agrológicas de la Comunidad de Madrid*. 1:200000. CAM. Madrid.

PEINADO M. y RIVAS-MARTÍNEZ, S.

- 1987 *La vegetación de España*. Ed. Univ. Alcalá de Henares. Madrid; 544 pp.