

## APLICACIÓN DE IMÁGENES LANDSAT PARA EVALUAR LA CALIDAD DE LOS SUELOS EN LA ALCARRIA (ESPAÑA)

### USE OF LANDSAT IMAGES FOR TESTING THE SOIL QUALITY IN LA ALCARRIA (SPAIN)

M<sup>a</sup> P. GARCÍA RODRÍGUEZ<sup>1</sup>, M<sup>a</sup> E. PÉREZ GONZÁLEZ<sup>1</sup>, R. JIMÉNEZ BALLESTA<sup>2</sup> y V. GONZÁLEZ QUIÑONES<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dep. Análisis Geográfico Regional y Geografía Física. Facultad de Geografía e Historia. Universidad Complutense. Av. Prof. Aranguren s/n, 28040 Ciudad Universitaria. Madrid. Tel 913945969. Fax 913945963. E-mail: mpgarcia@ghis.ucm.es.

<sup>2</sup>Dep. de Química Agrícola, Geología y Geoquímica. Facultad de Ciencias. Universidad Autónoma de Madrid. Cantoblanco. Madrid.

**Resumen.** El objetivo del estudio es analizar la calidad de los suelos en los páramos calizos de la comarca de la Alcarria en la provincia de Guadalajara (España). Para ello se han utilizado imágenes TM y ETM del satélite Landsat. Se han efectuado trabajos de campo y laboratorio, describiendo y analizando dos perfiles de suelos, un Luvisol crómico y un Cambisol calcárico. Con todos los datos se han realizado clasificaciones supervisadas escogiendo diferentes unidades de vegetación, litologías y usos del suelo.

**Palabras clave:** calidad, Landsat, Alcarria

**Abstract.** The object of this paper is to analyse the quality of the soils of the limestone highlands in the region of La Alcarria, in the province of Guadalajara (Spain). For this purpose, TM and ETM from the Landsat satellite were used. Field and laboratory works have been done in order to describe and analyse two profiles of the soils, which are Chromic Luvisol and Calcaric Cambisol. Supervised classifications were done with the whole data, selecting different units of vegetation, lithology and use of the soils.

**Key word:** quality, Landsat, Alcarria

## INTRODUCCIÓN

Dentro de la región central española existe una comarca, situada al este de Madrid, formando parte de las provincias de Cuenca y Guadalajara, conocida como Alcarria (Fig. 1). En ella existen extensas áreas de morfología plana, que conforman los páramos (plataformas estructurales con altitudes alrededor de los 700-900 metros) datadas como Mioceno. Se trata de capas calizas que no son totalmente horizontales, de modo que en ocasiones se han instalado suelos profundos con amplia edafogénesis. Es

el caso de numerosos Luvisoles crómicos preservados en las áreas coincidentes con la conservación de la cobertura vegetal. Sin embargo, muchos de estos auténticos paleosuelos se han visto afectados por diversos procesos de degradación, lo que ha motivado la destrucción parcial de su morfología, o la pérdida de sus propiedades funcionales en su estadio climax.

Bajo esta perspectiva se aborda el estudio de la calidad de los suelos en una superficie del páramo calizo de la Alcarria de Guadalajara

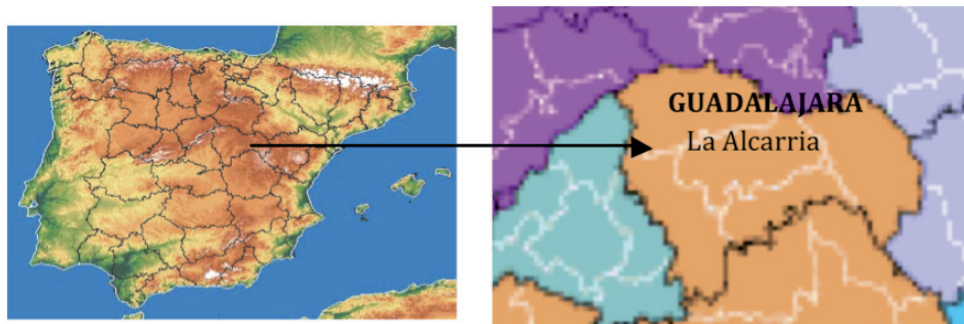


FIGURA 1. Localización del área de estudio.

que ha sufrido una importante regresión, como denota su escaso espesor. La degradación se observa tanto por la pérdida de color y estructura, como por la desaparición de horizontes árgicos, de modo que se transforman en cámbicos, llegando incluso a desaparecer éstos, en cuyo caso evolucionan a leptosoles. Otro proceso observado es la recarbonatación. Sin embargo, a pesar de esta intensa degradación, todavía son rentables agrícolamente algunos de estos suelos, especialmente para el cultivo de cereales, si bien para otros cultivos habituales en esta comarca, como el viñedo, su productividad es escasa.

El tratamiento visual y digital de las imágenes del satélite Landsat, trabajo de campo y laboratorio, permiten conocer la variabilidad espacial de las asociaciones de suelos y detectar los principales enclaves afectados por erosión. Con todo ello, se puede realizar una clasificación de la ocupación del suelo y de su estado de conservación.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Para la realización de este trabajo se han utilizado imágenes de satélite, fotografías aéreas y estudios de campo con la toma de muestras de dos perfiles y su posterior análisis en laboratorio.

Para efectuar el estudio mediante imágenes de satélite se han usado dos imágenes de

los satélites Landsat 5 y 7 de los sensores Thematic Mapper (TM) y Enhancement Thematic Mapper (ETM), correspondientes al cuadrante 200/32 con fechas: 17-09-2003 y 30-06-2001. Estas imágenes se han tratado con el programa ERDAS 8.6 y se le han realizado diversos tratamientos digitales:

- mejoras radiométricas (eualización del histograma)
- mejoras espaciales (filtros direccionales)
- mejoras espectrales: índice de vegetación normalizado (NDVI):  $(\text{banda } 4 - \text{banda } 3) / (\text{banda } 4 + \text{banda } 3)$ ; índice de arcillas:  $\text{banda } 5 / \text{banda } 7$  e índice de composición mineral:  $\text{banda } 5 / \text{banda } 7$ ,  $\text{banda } 5 / \text{banda } 4$  y  $\text{banda } 3 / \text{banda } 1$ .

También se ha obtenido una clasificación supervisada para cada una de las imágenes, considerando las clases informacionales más representativas en cada fecha, en las que se han recogido la variabilidad en usos y ocupaciones del suelo, separando los distintos tipos de vegetación y las litologías más destacadas: agua, vegetación natural (arbórea y arbustiva), cultivos de regadío-vegetación higrófila, cultivos de secano, barbecho, sedimentos arcillosos, sedimentos carbonatados, escarpes, suelos desnudos y áreas urbanas.

En el estudio de las fotografías aéreas se han utilizado las hojas 487 y 512 del vuelo nacional a escala 1:30.000 de 1985.

En cuanto a los análisis de laboratorio se ha determinado: textura (método densimétrico),

pH (en agua y CIK), C.E., materia orgánica (método de Walkley y Black), carbonatos (calímetro de Bernard).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los dos perfiles analizados están situados cerca del municipio de Alaminos (Guadalajara). El primero se localiza en el km 66 de la carretera N-204 (coordenadas 40° 52'N y 2° 44'W) y se ha clasificado como Cambisol calcárico (FAO, 1998), Haploxerept lítico (Soil Taxonomy, 1999). El segundo se sitúa en el km 66.5 de la carretera N-204 (coordenadas 40° 53'

N y 2° 44'W) y se ha clasificado como Luvisol crómico (FAO, 1998), Haploxeralf lítico (Soil Taxonomy, 1999). Ambos perfiles tienen una topografía plana, con pendiente de clase 1, sin apenas pedregosidad ni afloramientos rocosos, con un drenaje de clase 4 y con evidencias de erosión hídrica laminar superficial. Están dedicados a cultivos de secano.

Los principales datos analíticos se recogen en los siguientes cuadros:

TABLA 1. Datos analíticos del Cambisol calcárico

Horizonte	Profundidad	Color (húmedo)	Color (seco)	Textura	pH 1:2,5	CaCO <sub>3</sub> %	M.O. %	C.E. 1:5 dS/m
Ap	0-8 cm	7.5YR4/4	7.5YR4/6	F-a-A	8,1	5,3	3,5	0,19
Bwk	8-47 cm	7.5YR5/4	10YR7/3	F-a-A	8,2	27,9	2,8	0,20
R	> 47	Caliza pontiense						

TABLA 2. Datos analíticos del Luvisol crómico

Horizonte	Profundidad	Color (húmedo)	Color (seco)	Textura	pH 1:2,5	CaCO <sub>3</sub> %	M.O. %	C.E. 1:5 dS/m
Ap	0-10 cm	5YR4/8	5YR4/4	F-a-A	8,4	0,8	4,6	0,12
Bt	10-49 cm	5YR5/8	5YR4/6	F-a-A	8,4	3,7	0,7	0,12
R	> 49	Caliza pontiense						

Los perfiles descritos son representativos de las áreas de páramo en la Comunidad de Castilla-La Mancha. En general, se caracterizan por una textura franca, contenido relativamente alto en materia orgánica en el horizonte superficial, pH alcalino, baja conductividad eléctrica y un porcentaje en carbonato cálcico pequeño en los horizontes superficiales, que se incrementa con la profundidad. Las propiedades químicas de estos suelos resultan favorables para su utilización agrícola, ya que un factor limitante en suelos desarrollados sobre

calizas como podría ser la presencia de alto contenido en carbonatos, no es muy significativa en estos perfiles debido a los procesos de decarbonatación superficial. Así, el principal factor limitante en la utilización de estos suelos con fines agrícolas es el espesor de los mismos, ya que en ocasiones la roca aflora casi en superficie.

Conocidas las principales asociaciones de suelos en la superficie del páramo y el estado de conservación de los mismos, se ha intentado, mediante las imágenes de satélite carto-

grafiar cambios en los mismos: aún cuando no es posible separar las distintas unidades de suelos, sí se ha conseguido discriminar variaciones, tanto en la composición de los horizontes superficiales, como en la vegetación y compararlas con las áreas aledañas.

El tratamiento visual y digital de las imágenes de satélite se realiza a partir de la selección de dos escenas de fechas contrastadas: una, junio de 2001, donde aún no se han recolectado los cereales de secano, y otra, septiembre de 2003, donde los suelos dedicados a cereales aparecen desnudos y por tanto es posible discriminar variaciones en su composición.

En un análisis visual de las imágenes se puede observar que los suelos con mejor calidad agrícola del área corresponden a las vegas de los ríos, dedicadas en su mayoría a cultivos de regadío y fácilmente discriminables en la imagen de septiembre. En segundo término, los suelos de mayor aprovechamiento agrícola corresponden a las superficies de los páramos. Así, en una comarca donde, en general, los suelos no son muy ricos, los páramos constituyen extensas superficies con una calidad relativamente aceptable, tradicionalmente dedicados a cultivos de cereales de secano. Frente a ellos, las áreas próximas con sedimentos terciarios más ricos en materiales detríticos (conglomerados y arenas) o en yesos, ofrecen una calidad inferior, aún cuando en numerosas ocasiones también se dediquen a cultivo.

En las imágenes de satélite en color natural y combinaciones con canales infrarrojos se identifican las principales unidades geomorfológicas y litológicas (sierras, páramos, relieves denudativos y diferentes formas fluviales), y las superficies actuales de vegetación natural (coníferas y frondosas) y cultivos (secanos y regadíos).

En la imagen de 2003 se diferencian en la superficie del páramo dos sectores: uno, en el norte (páramo alto), constituido por materiales ricos en arcilla (con tonos rojizos en la imagen

obtenida mediante la combinación 5-4-1, Fig. 2 y otro, al sur (páramo bajo), en el que destacan los carbonatos en superficie, con tonalidades más blancas en cualquier combinación de bandas. En los bordes de los páramos, con pendientes medias y altas, se detectan algunos sectores con elevado riesgo de erosión, identificables por tonos muy claros y formas de avenamiento pinnadas. Por el contrario, otros sectores están estabilizados debido a la presencia de vegetación natural.

En la imagen de 2001, la superficie del páramo está dedicada a cultivos de secano en su etapa de maduración, con alta respuesta de la clorofila en los canales infrarrojos (Figura 3). En esta escena se pueden observar ligeras diferencias en el contenido de biomasa dentro de la superficie del páramo, con menor respuesta espectral en los canales verde e infrarrojo próximo en el sector meridional; además, en las márgenes del páramo los cultivos son más raros, con producción más baja.

De los diferentes tratamientos digitales se han seleccionado las clasificaciones supervisadas de las dos imágenes (Fig. 4). En la clasificación de junio de 2001 se han separado diez clases informacionales, en las que destaca la distribución espacial de los cultivos de cereales, con diferente densidad en la cobertura vegetal. La superficie del páramo recoge la mayor parte de estos cultivos, con sensibles diferencias entre los sectores norte y sur como respuesta a la distinta calidad de los suelos. También se distinguen las áreas de arbolado más denso de aquellos escarpes con una vegetación natural más espaciada o arbustiva y que por tanto frena menos la erosión.

En la clasificación de la imagen de septiembre de 2003, al no tener la superficie del páramo apenas vegetación, se han podido separar en él dos clases con una composición diferente: suelos formados sobre las calizas en los que ha habido procesos importantes de descarbonatación y, por tanto, con más sedimentos arcillosos en superficie y otros, con presencia de

más carbonato cálcico. El resto de las clases corresponden a distintos tipos de vegetación y usos del suelo.

Los suelos analizados en la superficie del páramo clasificados como Leptosoles, Cambisoles y Luvisoles se suceden espacialmente, muy próximos entre si, de forma que, con frecuencia, sólo se pueden cartografiar como asociaciones. Asimismo, estos perfiles pueden

variar temporalmente produciéndose evoluciones desde unas unidades a otras. Esta gran variabilidad edáfica no permite la correcta identificación de suelos a partir de las imágenes de satélite. Sin embargo, el análisis multitemporal si ofrece buena información sobre el color del suelo, que indirectamente está relacionado con el contenido de materia orgánica, textura y carbonatos, y éstos con la calidad del suelo.



Fig. 2. Imagen TM, 17-09-2003, 5-4-1 (R-G-B)

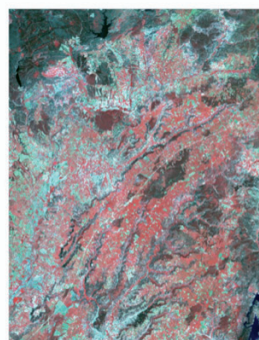


Fig. 3. Imagen ETM+, 30-06-2001, 4-3-2 (R-G-B)

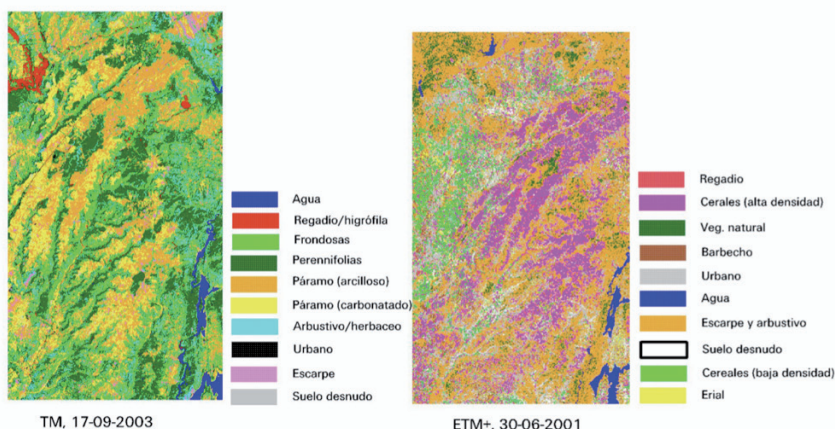


Fig. 4. Clasificaciones supervisadas de las imágenes Landsat

FIGURA 4. Clasificaciones supervisadas de las imágenes Landsat.

## CONCLUSIONES

El seguimiento de estos suelos mediante análisis multitemporal con imágenes de satélite de alta resolución espacial y espectral resulta muy útil para efectuar una cartografía sobre su variabilidad espacial y para conocer problemas de degradación.

Los suelos del páramo, pese a su escaso espesor mantienen una alta calidad agrícola, en relación a los suelos del entorno. Además, en su mayoría, están dedicados a cultivos de cereales en secano, que representan su óptimo agrícola. El principal factor limitante para su uso es el espesor incrementado por problemas de regresión en algunos perfiles con desaparición de horizontes B.

## AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo está financiado con fondos de la CAICYT, proyecto AGL 2002-02294: "Propuesta de un índice de calidad de suelos para Castilla La Mancha".

## REFERENCIAS

- FAO (1998). Base de referencia para los suelos del mundo. FAO.Roma.
- Mulders M.1987. Remote Sensing in Soil Science. Elsevier. Amsterdam. The Netherlands. 379 pp.
- U.S.D.A. (1999). Guía para la Evaluación de la calidad y salud del suelo. Dpto. de Agricultura. Washington.
- U.S.D.A. (1999). Keys to Soil Taxonomy. Soil Service Staff. *USDA*. Washington