

ESTUDIO DE LA DISTRIBUCION DE SUELOS Y SUS PROCESOS DE EROSION EN VALLADOLID, UTILIZANDO IMAGENES DEL SATELITE LANDSAT-5 (TM)

F. Santos-Francés*, J.M. Fernández Delgado** y P. Alonso Rojo*

**Unidad Docente de Edafología. Facultad de Farmacia. Universidad de Salamanca.*

***Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. Junta de Castilla y León.*

RESUMEN.- En este trabajo se exponen los resultados de la aplicación de imágenes del satélite Landsat-5 (TM) para caracterizar unidades edáficas homogéneas, en un sector que tiene a la capital de Valladolid en el centro. Además, se indica la metodología utilizada para reconocer, mediante Teledetección, áreas con suelos en diferentes grados de erosión.

La información obtenida mediante las imágenes digitales del sensor TM se ha complementado con un estudio de interpretación de fotos aéreas, a escala 1:18.000, y con la realización de un inventario de suelos y una descripción detallada de perfiles, en el campo, y el análisis de muestras en el laboratorio.

ABSTRACT.- This paper presents the results of the application of satellite Landsat-5 (TM) images to characterize homogeneous soil units in the area around the city of Valladolid. Moreover, the methods used to recognize areas with soils in different degrees of erosion by means of remote sensing are shown here.

The information obtained by digital images of sensor TM has been complemented by study of aerial photographs interpretation, scale 1:18.000, the execution of a soil inventory, a detailed description of profiles in the field and the sample analysis in the laboratory.

1.- INTRODUCCION

La distribución geográfica de los suelos en esta zona periurbana de Valladolid está fuertemente influenciada por la combinación de tres factores edafogenéticos (roca, relieve y edad de las superficies sobre las que se asientan los suelos), que son los que suelen imprimir un mayor control en la tipología y propiedades de los suelos (Santos Francés, 1995). Por lo tanto, la metodología que se ha empleado en este estudio de distribución de suelos se ha basado en la diferenciación de unidades de paisaje o fisiográficas, homogéneas respecto a los tres factores formadores del suelo citados anteriormente. A continuación, en cada una de estas unidades se ha realizado un exhaustivo inventario de suelos.

Las relaciones existentes entre los suelos con la litología, el relieve y el tiempo se expone en este trabajo utilizando varios cortes geológicos con esquemas de perfiles edáficos.

Otro de los objetivos de este estudio ha consistido en el reconocimiento, mediante Teledetección, de diferentes grados de erosión de suelos desarrollados sobre las margas de la facies "Cuestas" y sobre las terrazas del río Pisuerga. Estos suelos son utilizados como tierras de cultivo desde tiempos muy antiguos, debido a su elevada productividad, relacionada con una alta retención de agua, elevado contenido en nutrientes y carbonatos, pH neutro o ligeramente básico, complejo de cambio saturado en bases, etc. La escasa potencia que tienen estos suelos (decenas de centímetros) y el tiempo considerable que se necesita para su formación (del orden de varias decenas de milenios) hacen que su erosión pueda ocurrir de

una forma fácil, mientras que su reconstrucción suceda a un ritmo muy lento, teniendo en cuenta la escala de la edad del hombre. En consecuencia, una mala utilización agrícola de estos suelos puede llevar a su pérdida irreversible y, por lo tanto, se deben considerar como un recurso no renovable.

La respuesta espectral obtenida en las áreas representativas de los diferentes grados de erosión de los suelos varía de acuerdo con las propiedades de los horizontes superficiales (Cipra et al., 1980; Weismiller et al, 1983).

2.- MATERIAL Y METODOS

Las imágenes utilizadas corresponden a una subescena de 512 x 512 pixels, pertenecientes a la órbita 202-31, de fecha 15 de Agosto de 1992.

El método de trabajo empleado ha consistido en el análisis de las bandas 1, 2, 3, 4, 5 y 7 del sensor Thematic Mapper; interpretación visual mediante la combinación de diferentes bandas; operaciones aritméticas (resta y división) de canales espectrales; numerosos ensayos de clasificaciones supervisadas, utilizando bandas originales y pseudocanales y, por último, medición de los valores digitales de numerosos "campos testigos" representativos de los diferentes grados de erosión de los suelos. Estos "campos" se han elegido en áreas que previamente se conocía la morfología y las principales propiedades de los suelos.

La distribución de las diferentes unidades fisiográficas se ha determinado, previamente, mediante interpretación de fotografías aéreas en color, a escala 1:18.000 y con un intensivo trabajo de campo. Los suelos se han clasificado según la taxonomía de la FAO 1988.

3.- CARACTERISTICAS GEOLOGICAS, GEOMORFOLOGICAS Y EDAFICAS DE LA ZONA ESTUDIADA

Se ha elegido una zona que tiene como centro la ciudad de Valladolid y abarca a un entorno de la misma que corresponde a una superficie aproximada de 250 Km². El río Pisuerga y su valle, que cruzan el sector en dirección NE-SW, es el eje principal de la imagen, en tanto que los límites occidental y oriental corresponden a los bordes de los páramos de Torozos y Cerratos, respectivamente. El valle del Esgueva se hace patente en la parte centro-oriental de la imagen, zona en la que enlaza con la ciudad y la vega del Pisuerga.

Desde el punto de vista geológico, la región objeto del presente estudio se encuentra emplazada en el sector central de la Cuenca del Duero, sobre materiales del Terciario Superior (Mioceno y Plioceno), los cuales están modelados durante el Cuaternario por la acción erosiva fluvial del Pisuerga, del Duero y de sus arroyos afluentes.

El paisaje de esta región se caracteriza por poseer seis unidades fisiográficas perfectamente diferenciadas por su litología, relieve, suelos y procesos erosivos:

1) Páramos calcáreos.- Se trata de superficies llanas, poligénicas, constituidas por una secuencia de calizas duras, blancas y grises y con intercalaciones de calizas blandas o margas blancas (Mioceno-Plioceno).

En esta unidad predominan unos suelos de pequeño desarrollo (Leptosoles líticos), en las áreas donde las calizas afloran más cerca de la superficie. En otras zonas el suelo tiene mayor espesor (Luvisol cálcico), cuyas características más sobresalientes son la presencia de un horizonte arcilloso de color rojo (Bt) y una acumulación de carbonatos (Ck). Las formaciones de "Terra rossa" tienen carácter relicto, están asociadas al modelado cárstico de la superficie de estos páramos y están constituidas por arcilla y óxidos de hierro, procedentes de los residuos de alteración de las calizas, introducidas entre las grietas de disolución (Figura 1).

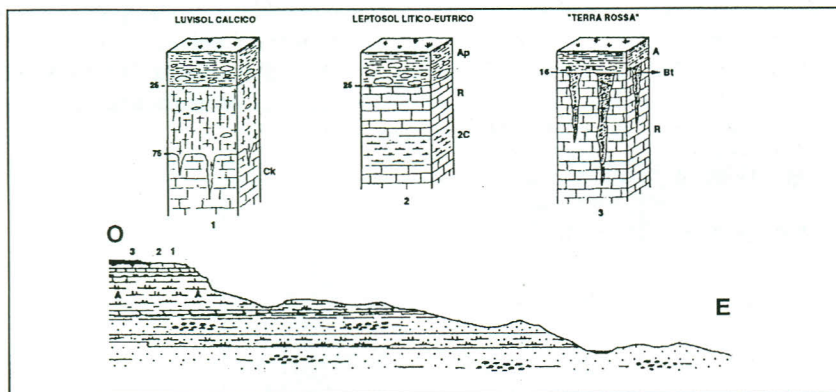


Figura 1.- Páramo calcáreo

2) Cuestas margo-yesíferas.- Esta unidad comprende las superficies de fuerte pendiente que están situadas en los bordes de los páramos, cuyo sustrato está formado por margas y margocalizas blancas y grises, con yeso, de edad Mioceno Superior (Figura 2).

Los suelos de estas laderas y taludes muestran diferentes grados de erosión (Figura 3), relacionadas directamente con la inclinación de la pendiente, desde los Cambisoles calcáricos, éutricos y crómicos en las vertientes menos pronunciadas y estables, hasta los Regosoles calcáricos en las más escarpadas, en donde son muy patentes los procesos de erosión.

Los Regosoles son los suelos más característicos de esta unidad fisiográfica, poseen un color blanco y alto contenido en carbonatos, lo que les proporciona unos valores muy altos de reflectancia espectral, indicativa, a su vez, de una intensidad de erosión FUERTE. Por el contrario, los Cambisoles que son minoritarios dentro de esta unidad, pero que predominan sobre los fangos ocre de la unidad contigua (Campiñas arcillosas), son de color pardo y tienen unos valores más bajos de reflectancia, como reflejo de una intensidad erosiva DEBIL a MODERADA (Figura 4).

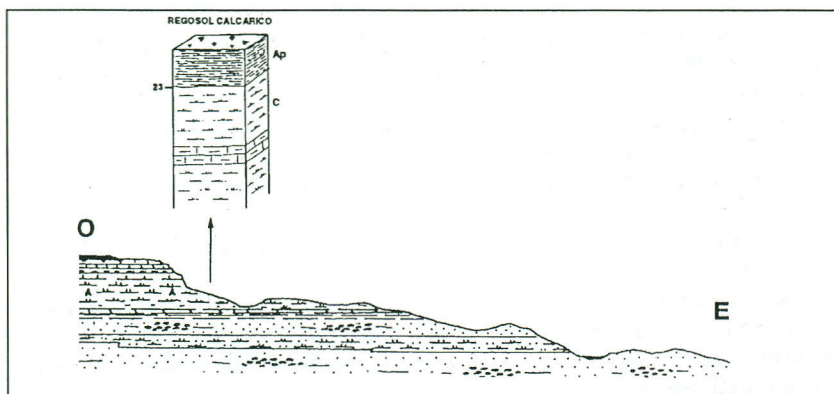


Figura 2.- Cuestas margo-yesíferas

3) Campiñas arcillosas (llanuras onduladas).- Constituyen un relieve suavemente ondulado sobre fangos arcillosos (Mioceno Medio), que enlaza con la vega fluvial o con las terrazas

del río Pisuerga. Estratigráficamente pertenecen a la facies “Tierra de Campos”, compuesta por fangos o limos de color pardo, con paleocanales de arenas y gravas. También forma parte de esta unidad fisiográfica otra serie denominada “Facies Dueñas”, formada por margas y arcillas, blancas y grises, con algunas intercalaciones de delgados niveles de margocalizas y limos débilmente salinos.

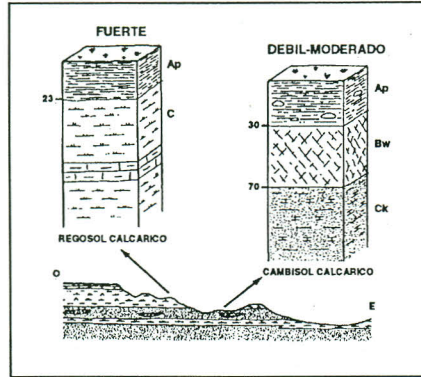


Figura 3.- Grados de erosión de los suelos situados sobre las Cuestas y Campiñas arcillosas

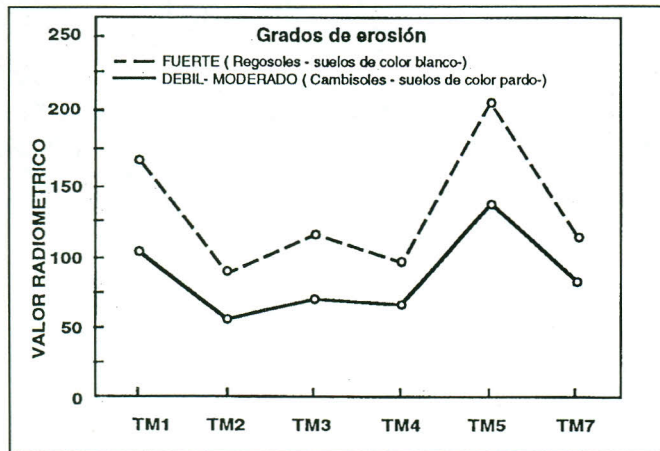


Figura 4.- Firma espectral de los horizontes superficiales de dos diferentes estados de erosión de suelos situados en el borde de los páramos

Los suelos más característicos de estas campiñas arcillosas son los Cambisoles calcáricos y crómicos, con un horizonte cámbico (Bw) de color pardo oscuro. En los fondos de los pequeños valles, sobre sedimentos finos, con drenaje deficiente y tendencia al encharcamiento predominan los Gleysoles calcáreos (Figura 5).

4) Terrazas fluviales.- Están constituidas por conglomerados y gravas de cuarcita, formando una secuencia de depósitos en forma de “graderio”, de edad Pleistocena, testigo de etapas sedimentarias del Pisuerga a lo largo del proceso de encajamiento de la red fluvial en la serie sedimentaria del Terciario. Las terrazas se escalonan exclusivamente en la margen occidental de la vega del Pisuerga, en donde se han contabilizado hasta diez niveles en dirección aguas

arriba de Valladolid, aunque en la imagen estudiada sólo son apreciables cinco o seis, con la inclusión de la vega. Los suelos predominantes de esta unidad son de color rojo (Luvisoles cálcicos y Alisoles háplicos), que se caracterizan por la presencia de horizontes petrocálcicos, preferentemente en las terrazas intermedias (Figura 6).

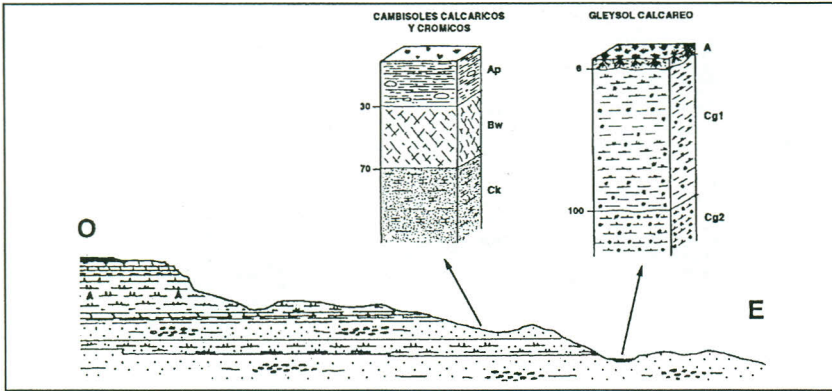


Figura 5.- Campiñas arcillosas o llanuras onduladas

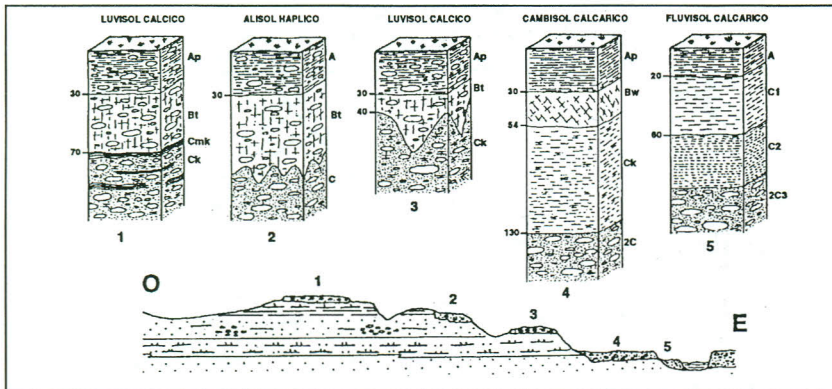


Figura 6.- Terrazas fluviales, llanura de inundación (vega) y cauce actual del río Pisuerga

Son frecuentes los procesos de erosión de estos suelos: en unas zonas de esta unidad se conserva en superficie un horizonte eluvial, arenoso, de color pardo y con poca materia orgánica; en otras, dicho horizonte se ha erosionado y aflora el horizonte argílico (Bt) de color rojo oscuro, arcilloso y con abundantes óxidos de hierro; por último, existen pequeñas áreas en donde los procesos erosivos han sido de tal intensidad que llega a aflorar en superficie el horizonte cálcico (Ck), de color blanco y con gran cantidad de carbonatos secundarios (Figura 7). La firma espectral de estos suelos (Figura 8) varía enormemente en función de las propiedades de los horizontes que afloran en superficie o, lo que es lo mismo, de la intensidad de erosión (Latz et al, 1984): Los horizontes eluviales proporcionan unos valores radiométricos moderados (intensidad de erosión NULA o DEBIL); los horizontes argílicos dan lugar a unos valores muy bajos (intensidad de erosión MODERADA) y, por último, los horizontes cálcicos proporcionan valores radiométricos altos (intensidad de erosión FUERTE).

5) Llanuras arenosas.- En el interfluvio Duero-Pisuerga un manto de arenas eólicas recubre una amplia extensión. Se trata de arcosas formadas por granos subredondeados de edad Pleistoceno superior-Holoceno.

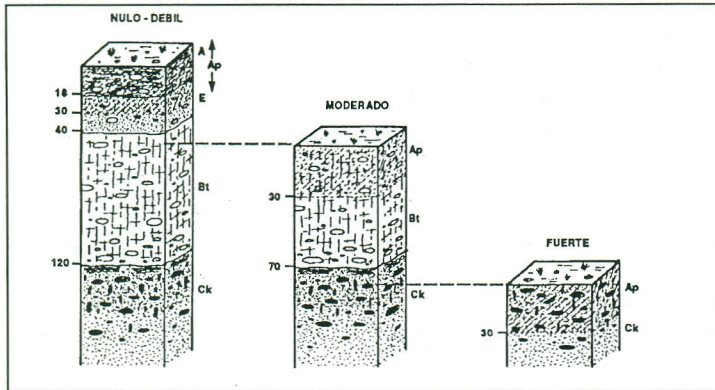


Figura 7.- Grados de erosión de los Lluviosoles situados sobre las terrazas fluviales

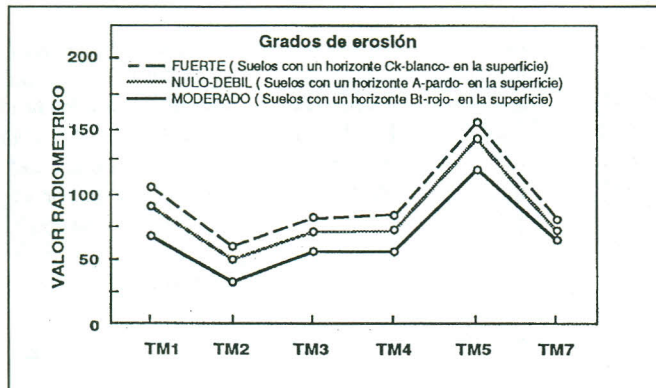


Figura 8.- Firma espectral de los horizontes superficiales correspondientes a tres diferentes estados erosivos de suelos situados en las terrazas del río Pisuerga

Sobre estos arenales se han formado suelos de escasa evolución (Arenosoles háplicos y lúvicos).

6) Vega del río Pisuerga.- Constituye la terraza más baja del Pisuerga o la denominada "llanura de inundación". Esta unidad se ha originado por los depósitos sucesivos y más o menos recientes de limos, gravas y arenas.

Los suelos más característicos de esta unidad son de color pardo (Cambisoles calcáricos y crómicos), con un horizonte Bw de color algo más oscuro que el superficial y con pequeños y escasísimos cútanos de iluviación, lo que permite considerar a este horizonte como una transición hacia un horizonte argílico (ver Figura 6).

4.- RESULTADOS Y DISCUSION

Con las bandas 1, 2, 3, 4, 5 y 7 del sensor TM (Landsat) se han realizado todos los procesos

habituales de tratamiento visual y digital de imágenes.

De las numerosas combinaciones de bandas (falso color) que se han visualizado, las que mejor discriminan las áreas erosionadas son las siguientes: (7-5-3), (5-4-1), (5-4-3), (1-4-5) y (7/1-3/1-5), visualizadas con los colores rojo, verde y azul, respectivamente. En (Color 26a anexos) se muestra una de estas combinaciones en falso color.

Se ha realizado una Clasificación supervisada, mediante el método de máxima probabilidad, con los canales 1, 3, 5 y 7 del TM (Color 26b, anexos). Para ello se han delimitado, de forma precisa, una serie de áreas de entrenamiento, representativas de las diferentes clases espectrales, a partir del conocimiento que se tiene de la zona, previos estudios de fotointerpretación y campañas de campo.

Se ha calculado la signatura espectral de las diferentes unidades edáficas que han sido consideradas en la clasificación y se han obtenido, en general, unas curvas muy similares para los suelos de las diferentes unidades fisiográficas, las cuales se caracterizan por unos valores elevados en las bandas 1 y 5. Los suelos erosionados, situados sobre las margas de la facies "Cuesta", son de color muy claro o blanco y poseen alto contenido en carbonatos, lo que les proporciona unos valores muy altos de reflectancia. Los suelos desarrollados sobre las terrazas fluviales se caracterizan por valores radiométricos bajos, debido a su color rojo oscuro del horizonte Bt, que frecuentemente aflora en superficie y su alto contenido en óxidos de hierro. Los valores más bajos corresponden a los suelos situados sobre la vega del río Pisuerga, debido a su mayor contenido de humedad y a la cobertura de numerosas parcelas del terreno con cultivos de regadío. Se han contruido las matrices de distancias espectrales de Fisher (Tabla I), con objeto de obtener información sobre el poder discriminante de cada uno de los canales TM que han sido utilizados en la clasificación y acerca del nivel de separabilidad entre las distintas clases consideradas. Cabe resaltar un moderado grado de confusión entre las distintas clases, como consecuencia del solapamiento que tiene lugar entre las respuestas espectrales de las mismas. La mayor separabilidad se produce entre las "cuestas" y "páramos" con el resto de las clases. Los canales con mayor poder discriminante han resultado ser las bandas TM5 y TM1.

	PARAMOS	CUESTAS	LL. ONDUL	TERRAZAS	C. URBAN	P. INDUS	V. DEL RIO
PARAMOS	0.000						
CUESTAS	0.615	0.000					
LL. ONDULADAS	0.958	1.482	0.000				
TERRAZAS	1.879	2.188	1.121	0.000			
C. URBANO	3.948	4.083	3.156	1.570	0.000		
P. INDUSTRIALES	2.737	2.965	1.979	0.678	0.862	0.000	
VEGA DEL RIO	2.585	2.766	1.923	0.747	0.590	0.156	0.000
CANAL TM 5							
PARAMOS	0.000						
CUESTAS	2.933	0.000					
LL. ONDULADAS	0.048	2.934	0.000				
TERRAZAS	1.691	3.968	1.627	0.000			
C. URBANO	3.948	3.435	1.355	0.072	0.000		
P. INDUSTRIALES	1.272	0.756	1.284	2.156	1.853	0.000	
VEGA DEL RIO	1.611	3.370	1.557	0.236	0.265	1.876	0.000
CANAL TM 1							

TABLA I.- Matrices de distancias de Fisher

Se ha elaborado la matriz de confusiones entre la imagen clasificada y la correspondiente a la realidad terreno ("imagen máscara") y a través de ella se aprecia que la mayor parte de los píxeles de las clases **Páramo** y **Cuesta** se han clasificado como tales, sin embargo, las clases **Campiñas arcillosas**, **Terrazas** y **Vega del río** sufren una gran confusión (Tabla II).

Mediante la clasificación supervisada realizada con cuatro pseudocanales (3/1, 7/1, 3-1 y 1/5), se han obtenido unos poderes discriminatorios y una matriz de confusiones semejantes a los anteriores, aunque, en general, la clasificación se puede considerar algo mejor. Los pseudocanales con mayor poder discriminante han resultado ser el 1/5 y el 3-1 y la mayor separabilidad entre clases se produce entre los **Páramos** y las **Cuestas**, mientras que la mayor confusión se produce entre las **Terrazas** y la **Vega del río**.

5.- CONCLUSIONES

En la zona estudiada existe una gran diversidad de litologías, suelos, cultivos, etc. lo que favorece la presencia de un alto porcentaje de pixels mixtos en las imágenes digitalizadas del sensor TM que dan como resultado deficientes clasificaciones supervisadas y grandes confusiones en la discriminación de determinadas unidades fisiográficas en este sector de Valladolid, por este motivo creemos que es necesario añadir a esta metodología digital de imágenes unos estudios exhaustivos de interpretación de fotografías aéreas, como paso previo para realizar una cartografía de suelos de esta zona. Posteriormente, una vez delimitadas estas unidades, se debe proceder, en cada una de ellas, a realizar un inventario morfológico de suelos y descripción de los perfiles más representativos.

	PARAMOS	CUESTAS	LL. ONDUL	TERRAZAS	C. URBAN	P. INDUS	V. DEL RIO	TOTAL
PARAMOS	5595	320	446	914	36	22	1	8539
CUESTAS	246	3474	206	81	4	62	0	6195
LL. ONDULADAS	4409	292	1587	1836	15	149	5	8857
TERRAZAS	966	3	557	2454	521	31	264	5437
C. URBANO	34	4	104	819	2340	408	18	4937
P. INDUSTRIALES	8	17	16	96	455	934	1	2094
VEGA DEL RIO	1572	156	1237	6462	2982	457	1574	21783
TOTAL	12830	4266	4153	12662	6353	2063	1863	57842

Tabla II.- Matriz de confusiones (valores absolutos) de la clasificación realizada con los canales 1, 3, 5 y 7

Por último, los resultados obtenidos en este trabajo nos indican que las imágenes digitales de Teledetección aportan al edafólogo una información muy valiosa para detectar y diferenciar áreas de suelos sometidas a diferentes grados de erosión antrópica e, incluso, para medir su extensión superficial. Además, mediante el uso de técnicas de "percepción remota" se facilita la realización de estudios temporales para el seguimiento evolutivo de los procesos de erosión de los suelos, a lo largo del tiempo.

6.- AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido subvencionado por la C.I.C.Y.T. -Plan Nacional I+D- (Proyecto nº ESP93-0347)

7.- REFERENCIAS

- Cipra, J.E., Franzmeier, M.E., Bayer, M.E. and Boyd, R.K. 1980. Reflectance properties of soils. Academic Press. Inc. New York. *Advances in Agronomy*. **38**: 1-44.
- Latz, K.; Weismiller, R.A.; Van Scoyoc, G.E. and Baumgardner, M.F. (1984). Characterist variations in spectral reflectance of selected eroded Alfisols. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **48**, 1130-1134.
- Santos Frances, F. 1995. Estudio de la distribución de los principales tipos de suelos de la provincia de Salamanca, con la ayuda de imágenes del satélite Landsat-5. *In Cambios Regionales a finales del siglo XX*. Edit. Asociación de Geógrafos Españoles y el Depto. de Geografía de la Univer. de Salamanca: 477-484. Salamanca.
- Weismiller, R.A.; Van Scoyoc, G.E.; Pazar, S.E.; Latz, K. and Baumgardner, M.F. 1983. Use of soil spectral properties for monitoring soil erosion. *In Soil Erosion and Conservation*. Edit. Soil Conservation Society of America. **12**, 119-126.