

## La teledetección en el estudio de procesos de desertificación. El proyecto Médalus

*J. Meliá<sup>1</sup>; J. Bastida<sup>2</sup>; S. Gandía<sup>1</sup>; M.A. Gilabert<sup>1</sup>;  
M.T. Younis<sup>1</sup> y A.M. López<sup>2</sup>*

(1) Departament de Termodinàmica  
Universitat de València

(2) Departament de Geologia  
Universitat de València

### RESUMEN

La comunicación recoge los aspectos más relevantes del trabajo realizado por el Departamento de Termodinámica en el marco del proyecto de investigación MEDALUS, subvencionado por las Comunidades Europeas durante los años 1991 y 1992. En la zona de trabajo, situada en el sudeste de la península Ibérica, se han realizado estudios de espectrorreflectometría de campo y de difracción Rayos X de las principales litologías identificadas en la misma. Mediante imágenes del satélite Landsat-5 TM se ha procedido a la clasificación de la zona, atendiendo a la erosionabilidad de cinco categorías litológicas. La metodología puesta a punto permitirá aplicar, en una segunda fase (1993-94), los resultados obtenidos a la cuenca del río Guadalentín.

### SUMMARY

This paper presents the most outstanding work done during the years 1991-92, in the Department of Thermodynamics within the framework of the MEDALUS project of the European Communities. Work area (Alcantarilla and Mula) is located at the southwest part of the Iberian peninsula. Field radiometry and X-Ray analysis have been carried out in seventeen lithologies outcropping in the zone. The study area has been classified, by Landsat 5 TM images, into five lithological classes, established according to their susceptibility to erosion. The methodology developed will allow the extrapolation the results to other areas, like the Guadalentín basin.

### Introducción

El área escogida para el estudio de desertificación está situada en la provincia de Murcia, sudeste de la península Ibérica, en el extremo oriental de la cordillera Bética. Se sitúa entre las localidades de Alcantarilla, Mula y Bullas, que en la cartografía del Servicio Geográfico Nacional a escala 1:50.000, corresponde a las hojas 912 (Mula) y 933 (Alcantarilla), (IGME, 74).

El estudio se ha centrado en dos zonas "El Ardal" y "Alcantarilla". En la primera de ellas se han escogido nueve parcelas experimentales, que han sido objeto de seguimiento conjunto con la Universidad de Murcia.

La zona de Alcantarilla se ha elegido para la caracterización radiométrica, mediante medidas de radiometría de campo e imágenes de satélite de alta resolución, Landsat TM (imagen 199-034, con una ventana centrada en 38.50 N, 1.50 W), de las diferentes unidades litológicas presentes en el área para llegar a establecer finalmente un índice de desertificación, diseñado para estudios futuros a escala regional. Se han tomado diecisiete parcelas de medida seleccionadas de manera que sean representativas de las litologías de la zona y que por su ubicación fueran localizables en las imágenes de satélite. En cada una de las diecisiete parcelas se han hecho tres tipos de medidas: análisis de muestras por difracción de Rayos X, espectrorradiometría de campo en el dominio solar del espectro (0.4-2.4  $\mu\text{m}$ ) y medida por imágenes de satélite (Landsat TM).

La metodología empleada, así como los resultados más relevantes del estudio de Rayos X, junto con otros aspectos del trabajo, se encuentran detallados en la memoria de la tesis doctoral de M.T. Younis "Caracterización y Discriminación Espectral Mediante Radiometría de Campo e Imágenes Landsat-5 TM, de Unidades Litológicas en el Área de Alcantarilla, Murcia" (Younis, 1993) y en el informe final "Mediterranean Desertification and Land Use" MEDALUS I Final Report, (Meliá, 1993).

### ***Descripción del Área de estudio***

Desde el punto de vista estructural, la zona de estudio se divide en dos dominios: la zona interna y la zona externa, ambas diferenciadas por su paleografía y evolución tectónico-metamórfica. Sobre estas unidades aparece material de relleno de las cuencas pot-mantos, de desarrollo posterior al Mioceno Superior (Bastida et al, 1992).

La zona elegida presenta los materiales litológicos más característicos de la cuenca mediterránea española: rocas carbonatadas consolidadas, sedimentos cuaternarios y formaciones de margas y yeso.

#### ***Rocas carbonatas consolidadas***

La cohesión y compactación, unidos a la composición química de estas rocas, les proporciona un tipo particular de erosión. La solubilidad, relativamente alta, del carbonato cálcico cuando las aguas de lluvia contienen radical carbónico produce un desgaste interno causado por las aguas de infiltración que van ensanchando progresivamente las diaclasas existentes en las rocas. El agua infiltrada sigue disolviendo las rocas interiormente y puede dar lugar a la formación de una compleja red de simas y cavernas, por donde puede circular el agua subterránea.

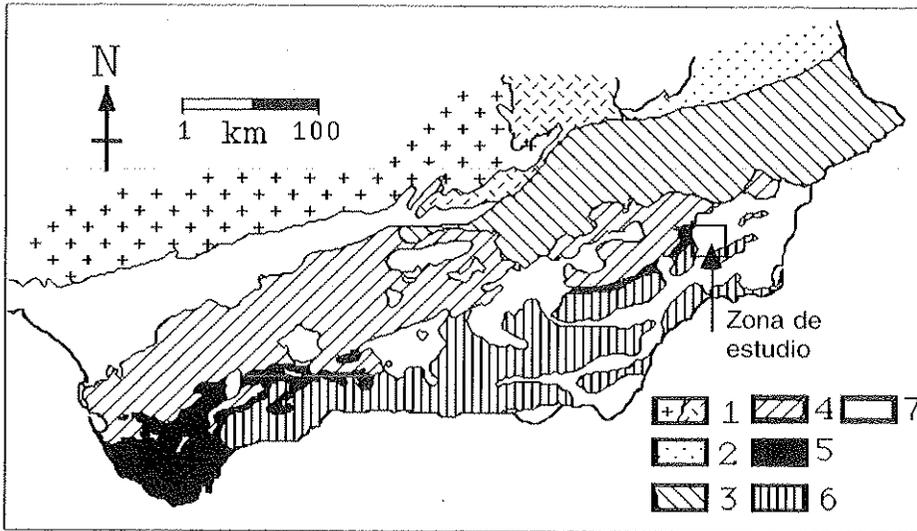


Figura 1

Esquema estructural de las Cordilleras Béticas (tomada de Azema et al. 1979 y simplificada, Younis 1993) donde se muestra la localización de la zona de estudio.

1. Meseta Iberica y su cobertura;
2. Dominio Iberico;
3. Zona Prebetica;
4. Zona Subbetica y Penibetico;
5. "Dominio de los Flysch";
6. Zonas Internas;
7. Neógeno posttectónico

### **Sedimentos Cuaternarios**

Los sedimentos cuaternarios son los sedimentos que proceden de la sedimentación de los materiales erosionados en diferentes áreas o cuencas de sedimentación. Se pueden diferenciar:

1. Sedimentos conglomeráticos, que están generalmente formando extensos glaciais con suave pendiente. El origen de estos sedimentos es la acumulación que se produce cuando las aguas de escorrentía de los relieves con acusadas pendientes, pierden gran parte de su energía cinética al llegar al pie de la montaña. Al tratarse de sedimentos con escaso grado de cohesión ofrecen poca resistencia a la acción erosiva de las aguas de escorrentía, que pueden abrir grietas y cárcavas con relativa facilidad, principalmente cuando las pendientes tienen relevancia.

Los suelos más frecuentes con estas formaciones de conglomerados se encuentran recubiertos por vegetación natural. En definitiva, los sedimentos conglomeráticos y suelos formados a partir de ellos tienen unas características que los hacen muy susceptibles a la erosión hídrica y degradación física, principalmente debido a la falta de cohesión de los materiales y a la textura y bajo contenido en materia orgánica de los mismos.

2. Depósitos recientes, que están constituidos por sedimentos aluviales cuaternarios que recubren las llanuras de la zona del mediterráneo. A pesar de que se trata de materiales poco cohesionados, la situación topográfica en la que se aparecen no es propicia a la erosión, pero, por el contrario, su localización ofrece alto riesgo para la degradación por salinización, motivado por la aridez del clima, la situación topográfica y textura limosa. Este riesgo es mucho más alto en aquellas cuencas en que los materiales geológicos tienen alto contenido en sales o en aquellas áreas donde la conductividad de las aguas de riego es bastante elevada. Los suelos formados a partir de estos materiales están dedicados al cultivo.

### ***Formaciones de margas***

Las formaciones de margas y los suelos formados a partir de ellas constituyen, sin lugar a dudas, el sustrato litológico con mayor riesgo de degradación en el área mediterránea. Son varias las características que favorecen los distintos procesos de degradación: poca cohesión, compactación y encostramiento superficial, permeabilidad muy baja, escasísimo contenido en materia orgánica, alto contenido en sodio en el complejo de cambio y poca o nula productividad. Todo esto condiciona una vegetación muy abierta que no ofrece protección al suelo y la aparición de las formas más degradadas del paisaje en el área mediterránea, tales como cárcavas o barrancos (Bad-land). La escasa cohesión facilita la formación de grietas, cárcavas y movimiento de masas que favorecen la erosión hídrica y desarrollo de bad-lands. En las áreas deprimidas el riesgo de salinización es muy alto debido a que con frecuencia estas formaciones de margas son ricas en sales (margas yesíferas), por ejemplo se pueden citar las margas del Neógeno.

### ***Formaciones de yeso***

Las formaciones de yeso o sedimentos yesíferos constituyen un tipo de suelo muy frecuente en la cuenca mediterránea y son muy susceptibles a los procesos de desertificación. El contenido químico de las formaciones de yeso favorece la degradación química por su alta solubilidad y fácil suspensión en el aire, debido a la presencia de  $\text{SO}_4^{-2}$  y a la presencia de agua en el sistema cristalino del yeso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), con fuerzas de enlace débiles. El contenido del anión  $\text{SO}_4^{-2}$ , cuando se encuentra en proporciones suficientes, ejerce una marcada influencia en los suelos en formas distintas como el enriquecimiento en sales que se produce en zonas áridas y semiáridas, en las que facilita la eliminación del perfil por lavado. Además, la presencia de sales en los suelos produce una germinación deficiente de las semillas, lo que se refleja en una cobertura vegetal pobre y escasa sobre dicho suelo y una clara disminución de la capacidad de la productividad del mismo.

Las diecisiete parcelas seleccionadas, como anteriormente ha quedado dicho, en las que se ha centrado la parte experimental del trabajo, son representativas de todos

los materiales litológicos más característicos de la zona. Una amplia descripción de los mismos se puede encontrar en Younis (1993). A los efectos de su discusión en este trabajo y con vistas a su estudio mediante imágenes TM se han agrupado en seis categorías, que se pueden ordenar según su sensibilidad decreciente a los factores de la erosión (Tabla 1).

**Resultados obtenidos mediante espectrorradiometría de campo para las unidades litológicas identificadas en la zona**

**Análisis preliminares a los estudios de reflectividad**

Se ha realizado un estudio previo de las medidas de reflectividad en determinadas litologías, al objeto de estimar la influencia que tienen la modificación de las condiciones de iluminación y la alteración de las superficies sobre los valores medidos. Las condiciones experimentales de iluminación en las medidas no son rigurosamente iguales para las diferentes litologías ya que se realizaron en días y a horas distintas. En segundo término el grado de meteorización de las superficies altera la respuesta radiométrica de las mismas, lo que modifica la dependencia de la radiometría con la composición mineralógica de la roca, tal como se obtiene del análisis de Rayos X.

**Influencia de las condiciones de iluminación**

Para determinar la influencia del ángulo solar cenital, se efectuaron medidas durante todo el día de una parcela de sedimentos cuaternarios (Q11), elegida por sus características intermedias respecto a otras unidades litológicas, en cuanto a su composición mineralógica.

<b>Litología</b>	<b>Cobertura vegetal</b>	<b>Consolidación</b>	<b>Relieve</b>
Yeso y depósitos Yesíferos	Muy dispersa	Precipitación química, muy soluble o friable	Moderado
Margas	Dispersa, matorral bajo	Friable, poco consolidada	Bajo
Sedimentos Cuaternarios	Matorral, poco denso	Poco consolidada	Muy bajo
Conglomerados rojos y areniscas	Bosques dispersos	Moderado	Moderado
Calizas	Bosques densos	Bien consolidadas	Alto
Rocas volcánicas	Matorral bajo muy disperso	Muy bien consolidadas	Moderado

Tabla 1  
Unidades litológicas ordenadas según grado decreciente de sensibilidad a los factores de la erosión, (Bastida 1992)

La Figura 2 muestra la variación diurna de la reflectividad. La variación relativa, se aprecia más en la región del infrarrojo. Esta mayor variación de la reflectividad en el infrarrojo medio puede atribuirse al contenido en humedad que puede tener efecto sobre la zona de la banda TM7, hacia 2.2  $\mu\text{m}$ . El error relativo determinado para las bandas TM está entre 2.0% (TM4) y 3.6% (TM7), valores que pueden considerarse como errores asociados a las medidas espectrorradiométricas de campo, por cuanto se han observado que son mayores que los valores de dispersión correspondientes a medidas sucesivas de una misma superficie.

Sin embargo, Gilabert y Meliá (1993) estudiaron la evolución diurna de un sistema de cultivo de cítricos, en la que concluyeron que la variación en el ángulo cenital solar causa un cambio significativo de reflectividad de la vegetación que muestra un patrón de evolución diurna que viene determinado por un pequeño desplazamiento alrededor del mediodía solar. El presente estudio ha mostrado que para la variación de la reflectividad de litologías no sigue un determinado patrón, tal como ocurre el sistemas vegetales, y por lo tanto que las medidas radiométricas de campo de cada litología, realizadas bajo diferentes ángulos cenitales (horas solares), no muestran cambios significativos.

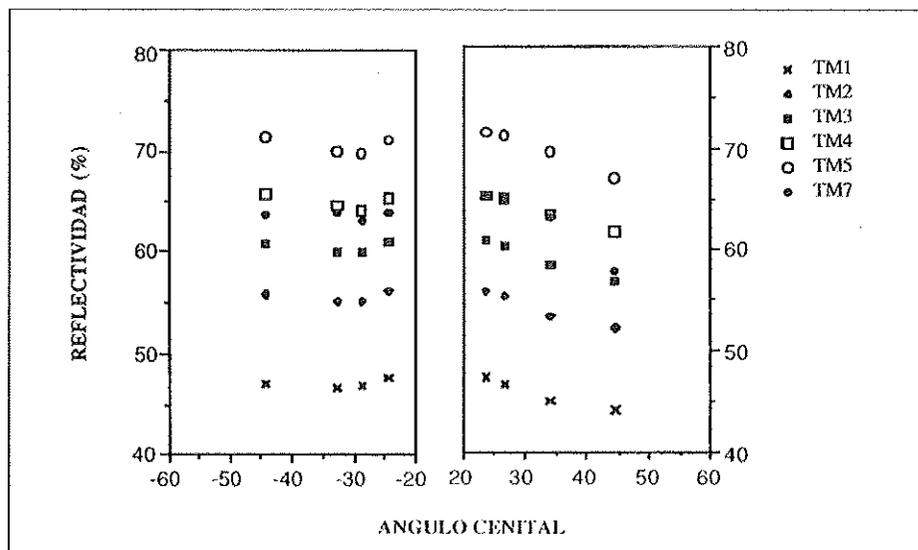


Figura 2

Variación diurna de la reflectividad en la unidad de Sedimentos cuaternarios (Q11), frente al ángulo solar cenital. En la representación los ángulos solares anteriores al mediodía se han considerado negativos

### *Caracterización espectral de las superficies frescas y meteorizadas*

Se han tomado quince de las diecisiete litologías seleccionadas para realizar un estudio de la modificación de su reflectividad, en razón al grado de meteorización de su superficie. En la Figura 3 se representan los espectros correspondientes a algunas de las litologías medidas. Las superficies meteorizadas muestran una absorción más intensa para el hierro (e.g. 0.85  $\mu\text{m}$ ) que las superficies frescas, debido a la oxidación del hierro por la atmósfera (White et al., 1984).

La unidad de Yeso (L1) presenta un comportamiento claramente diferente al de las restantes unidades. Se aprecia que ambos espectros exhiben reflectividades bien diferentes en la banda de 0.4-1.0  $\mu\text{m}$ , mientras que son muy semejantes para longitudes de onda superiores. Esta diferencia es debida a que las superficies meteorizadas de yeso están formadas por materiales de composición mineralógica completamente distinta a los de las superficies frescas.

La composición de las superficies meteorizadas de yeso se caracteriza por la presencia de arcillas, minerales de hierro (jarosita en nuestro caso) y una cantidad considerable de granos finos de cuarzo, y naturalmente, de los restos del propio yeso. La reflectividad en la zona visible e infrarroja próxima está completamente controlada en los materiales meteorizados por la presencia de los compuestos de hierro.

### *Respuesta radiométrica de las diferentes litologías*

Se ha medido la reflectividad de las diecisiete unidades litológicas identificadas en la zona, obteniendo de cada una el correspondiente espectro continuo. En Meliá et al. (1993) se da una descripción detallada de estas medidas. A modo de ejemplo y por su interés en cuanto a su importancia como unidades más vulnerables a la erosión parece interesante detenerse en las unidades de margas.

El espectro de las margas se caracteriza por la presencia de rasgos de absorción cerca de 0.5 y de 0.65  $\mu\text{m}$  y por rasgos de absorción más amplios cerca de 0.9  $\mu\text{m}$ , indicando la presencia de minerales de hierro (hematitas o goetitas). La presencia de estos minerales es también evidente por la fuerte caída que muestra el espectro hacia la región del ultravioleta, y que es consecuencia de los efectos del campo cristalino (Townsend, 1987). En la región del infrarrojo próximo, los espectros muestran varios rasgos de absorción cerca de 2.2  $\mu\text{m}$ , los cuales son sobretonos del grupo OH debido a las arcillas, y un rasgo de absorción alrededor de 2.35  $\mu\text{m}$  que es consecuencia de la fracción de carbonatos (calcitas o dolomitas) de las unidades margosas.

La diferencia en el albedo entre diferentes unidades de margas es atribuible a la diferente composición mineralógica de las mismas y especialmente al contenido en

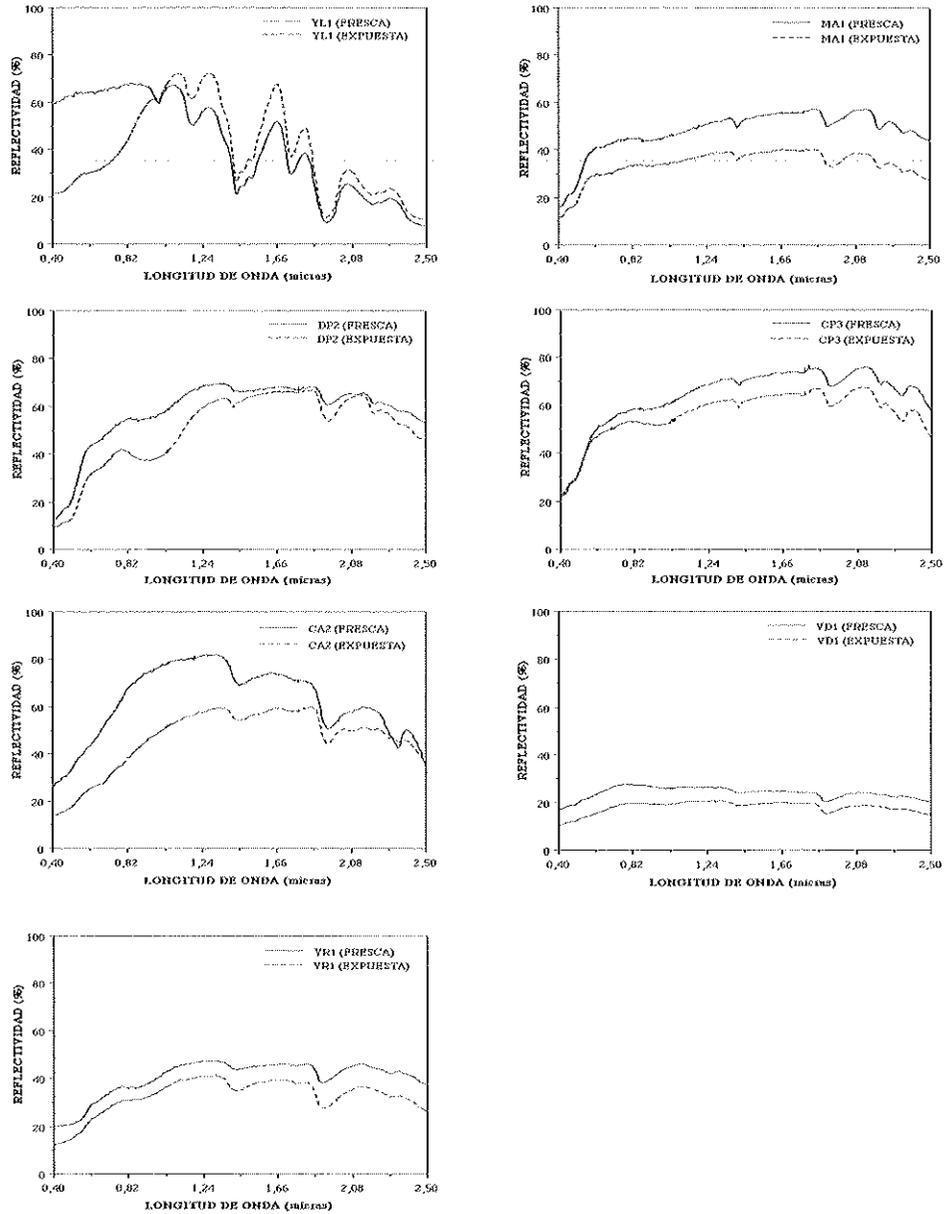


Figura 3

Medidas radiométricas de campo (en el intervalo espectral 0.4-2.5 mm) sobre superficies expuestas y frescas de los distintos afloramientos de las unidades litológicas y en condiciones de laboratorio

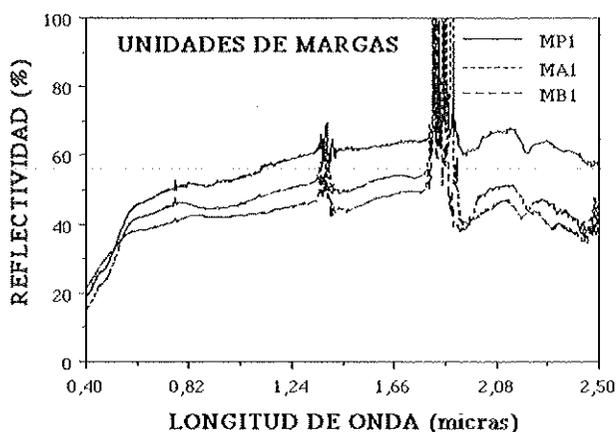


Figura 4  
Espectros de las tres unidades de margas (MPI, MA1 y MB1), medidas por espectrorradiometría de campo

cuarzo, cuyo efecto es el de incrementar la reflectividad a lo largo de todo el espectro de las unidades sedimentarias.

A modo de resumen la Figura 5 contiene las reflectividades deducidas para las diecisiete litologías, después de aplicar los filtros que nos permiten calcular los valores de reflectividad correspondientes a los intervalos espectrales de medida del sensor TM. Estos valores se han utilizado como referencia para la clasificación litológica del área de estudio mediante imágenes del satélite Landsat-5 TM.

#### *Clasificación de la zona de estudio*

Al objeto de realizar la clasificación litológica de la zona de estudio mediante imágenes de satélite, se han definido en la zona de Alcantarilla nuevas zonas patrón, correspondientes a las seis categorías dadas en la Tabla 1, en las que hemos agrupado las 17 unidades litológicas inicialmente consideradas y medidas. Se ha elegido, para el estudio que presentamos, la imagen TM correspondiente al 14 de Septiembre de 1987. La imagen está libre de nubes y corresponde al periodo de mínima cubierta vegetal. Para verificar los resultados se ha tomado un área próxima (Mula) de características similares, a la que se ha aplicado la misma clasificación que la de Alcantarilla.

Se han empleado inicialmente dos métodos de clasificación: Máxima probabilidad y mínima distancia. Verificados ambos, hemos seleccionado el de máxima probabilidad por sus mejores resultados.

Mostramos, finalmente, en la lámina los resultados de la clasificación de las seis litologías cartografiadas: Yesos, Margas, Sedimentos cuaternarios, Conglomerados, Calizas y Rocas volcánicas, en la zona de Alcantarilla. En gris y negro se representan las zonas ocupadas por bosques y cultivos, respectivamente, en los que la cubierta vegetal imposibilita la clasificación litológica.

El método de clasificación empleado, máxima probabilidad, ha resultado ser muy sensible a cartografiar las unidades yesíferas, lo cual reviste especial interés considerando que son las más susceptibles de erosión. Igualmente es de resaltar que el método nos permite la discriminación de la cubierta vegetal (matorral, pinos y cultivos).

Los resultados de la clasificación obtenidos en la zona de Mula, verificados mediante la cartografía disponible y visitas de campo, son muy buenos. Se confirma así la posibilidad de extrapolar la metodología desarrollada a otros lugares de la cuenca mediterránea española. En esta línea está previsto continuar el trabajo, aplicando la metodología a la cuenca del río Guadalentín, en el marco del proyecto MEDALUS II.

Clase	ALCANTARILLA	MULA
	Superficie (%)	Superficie (%)
YESO	1.54	4.09
MARGAS	4.72	12.31
CUATERNARIOS	28.03	30.60
TERRIGENOS	28.88	18.49
CARBONATOS	0.99	0.86
VOLCANICAS	0.63	0.01
VEGETACION NATURAL <sup>1</sup>	22.80	11.55
AREAS CULTIVADAS <sup>2</sup>	12.37	21.52

(1) Clase dominada por bosques de pino

(2) Clase dominada por áreas cultivadas de cítricos

Tabla 2

Superficie cubierta (en porcentaje) por las clases consideradas en la clasificación de la imagen TM (14-Sept.1987) de las áreas de Alcantarilla y Mula (Superficie total es de 538 km<sup>2</sup>)

### **Bibliografía**

- Azema, J.O.; Foucault, A.; Fourcade, E.; García-Hernández, M.; González-Donoso, J.M.; Linares, A.; Linares, D.; López-Garrido, A.C.; Rivas, P. y Vera, J.A.:** 1979. Las microfácies del Jurásico y Cretácico de las Zonas Externas de las Cordilleras Béticas. *Secc. Publ. Univ. Granada*, 83 p.
- Bastida, J., Younis, M.T. and Buendía, A.M.:** 1992. Application of landsat TM images for the study of the hydrographic network density and its relation to lithology in the area of Alcantarilla, SE Spain', *European Geophysical Society annual meeting*, Edingburgh, 24-26 April, 1992.
- IGME:** 1974. Mapa geológico de España, E: 1/50.000, Hoja nº 933 (Alcantarilla); Hoja nº 912 (Mula). *Servicio de Publicaciones del Ministerio de Industria y Energía*, Madrid.
- Gilabert, M.A. y Meliá, J.:** 1993. Solar angle and sky light effects on ground reflectance measurements in a citrus canopy, *Remote Sensing of the Environment*, 44: 1-25.
- Gilabert, M.A., Conese, C. y Maselli, F.:** 1993. An atmospheric correction method for the automatic retrieval of surface reflectance from TM images, *International Journal of Remote Sensing*, (en prensa).
- Meliá, J. Gilabert, M.A. y Younis, M.T.:** 1993. Contribución de la Teledetección en el estudio de las regiones semiáridas en La Teledetección en el seguimiento de los fenómenos naturales. *Climatología y Desertificación*. Universitat de València, pp. 238-268
- Meliá, J.:** 1993. MEDALUS I Final Report (EPOC-CT90-0014-SMA).
- Townsend, T.E.:** 1987. Discrimination of iron alteration minerals in the visible and near infrared reflectance data', *Journal of Geophysical Researches*, 92, 1441-1454.
- White, I.D., Mottershead, D.N. and Harrson, S.J.:** 1984. *Environmental systems'*, (Ed) Allen & Unwin London, 495 p.
- Younis, M.T.:** 1993. Caracterización y discriminación espectral, mediante radiometría de campo e imágenes Landsat-5 TM, de unidades litológicas en el área de Alcantarilla, Murcia. Tesis Doctoral, Diciembre 1993.

