

ESTUDIO DE LOS PROCESOS EROSIVOS UTILIZANDO IMAGENES DE SATELITE

Dr. Salomón Montesinos

GEOSYS, SL. Sector Foresta 23. Locales 7 y 8. 28760 Tres Cantos (Madrid).

smontesinos@geosys.es

Resumen

La costa mediterránea española fue definida por la *Carta Mundial de Riesgo de Desertificación* (FAO, 1977) como la única zona europea con riesgos erosivos muy elevados. Este hecho, unido a la preocupación creciente relativa al análisis de los procesos erosivos, ha conducido a la presentación de diversos estudios desde diferentes puntos de vista.

La *teledetección*, ha demostrado ser una herramienta muy útil en este campo. En el presente estudio, se ha desarrollado una metodología para la obtención de un mapa de riesgos de erosión a partir de este tipo de datos en la *Cuenca del Río Adra* (Almería).

Abstract

The Spanish Mediterranean coast was defined by the Risk of Desertification World Chart (FAO, 1977) as the only European zone with very high erosive risks. This fact, joined to the increasing worries regarding the erosive processes analysis, has led to the presentation of several studies from different points of view.

Remote sensing has been proved as a very useful tool to work with in this matter. In the present study, the methodology to follow in order to achieve an erosion risk map from satellite data has been developed in the Adra river basin (Almería, Spain).

I. INTRODUCCION

Los motivos por los que se ha planteado la ejecución de este trabajo son los siguientes:

1. El litoral mediterráneo español queda definido en el Mapa Mundial de Riesgo de Desertificación (FAO, 1977) como la única zona europea con muy alto riesgo erosivo.
2. La creciente preocupación por los procesos erosivos a lo largo de los últimos años, lo que ha motivado la aparición de numerosos estudios con diferentes perspectivas.

La *teledetección*, en este campo, se manifiesta como una herramienta de gran utilidad. Hasta el momento actual, las imágenes de Landsat MSS y TM se han utilizado fundamentalmente para la evaluación del factor de cubierta en estudios de riesgo de erosión y para la detección y cuantificación de áreas actualmente erosionadas. En cualquier caso, este tipo de datos son de gran valor para el desarrollo de planes de control de la erosión ya que constituyen una fuente de datos fiable para el operador.

El uso de datos de satélite combinados con información convencional (fotografías aéreas, cartografía...) incrementa la cantidad de información obtenida de las imágenes, lo que nos conduce al planteamiento de la posibilidad de integración de todos estos datos con el fin de obtener una

cartografía de riesgos erosivos. El objetivo del presente estudio ha sido el de desarrollar y probar una metodología para la obtención de una cartografía de riesgos erosivos a partir de datos de satélite para la cuenca del Río Adra (Almería). Se han hecho también consideraciones acerca de su validez a nivel de cuenca hidrográfica y de su posible extrapolación al resto del litoral mediterráneo. Por último, se ha llevado a cabo una comparación frente a los métodos tradicionales.

II. CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO

La cuenca del río Adra se encuentra situada en el límite entre las provincias de Granada y Almería, formando parte de la comarca natural de las Alpujarras (Figura 1).

La orientación de la cuenca es Norte-Sur, con un relieve simétrico según este eje, siendo la orografía de la zona compleja, debido a la heterogeneidad de la estructura geológica y a la geomorfología de la zona. Esto se ve reflejado en:

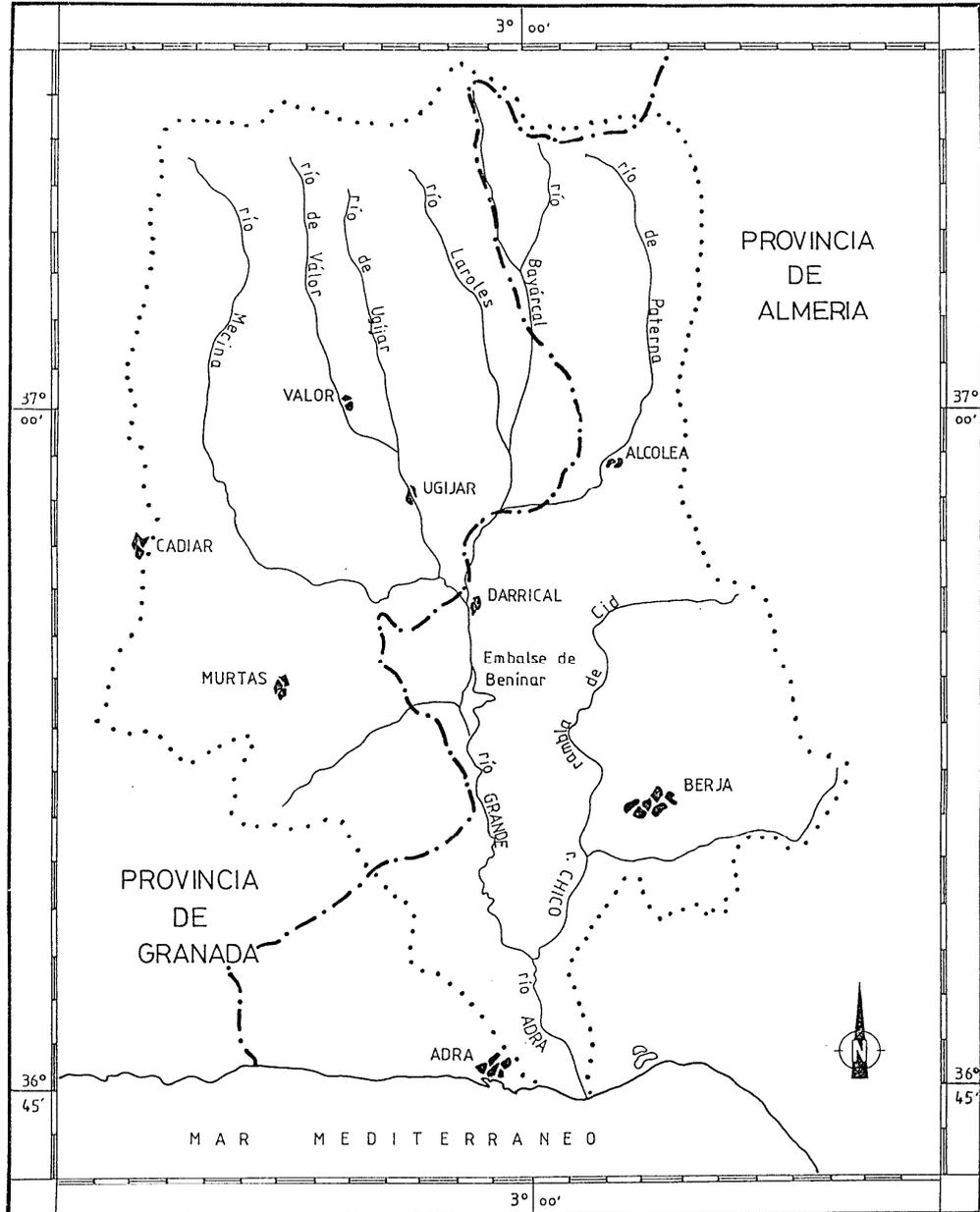
1. **Grandes contrastes topográficos**, dominando las pendientes pronunciadas, lo que da lugar a que sea relativamente frecuente encontrar cultivos en zonas en las que la limitación topográfica o erosiva supondría un obstáculo en otras áreas.
2. **Encajamiento de la red fluvial**. Climáticamente, la zona está sometida a la influencia de un clima mediterráneo típico, con variaciones de unas zonas a otras debido a la compleja orografía

En cuanto a la hidrología, se distinguen dos sectores con características y comportamientos claramente diferenciados: la *Cuenca Alta*, que comprende las subcuencas de Ugijar y Alcolea, caracterizada por un régimen moderadamente nival y la *Cuenca Baja*, de régimen pluvial. Por lo que respecta a la red de drenaje, se caracteriza por su elevada densidad, predominando el tipo arborescente o dendrítico, lo que implica unos valores altos de escorrentía superficial. En su conjunto, no ha alcanzado su estado de equilibrio, dado que el número de cauces de orden superior es relativamente pequeño.

Las características fundamentales de la vegetación en esta zona son las siguientes:

- Las comunidades climáticas presentes en la misma son muy escasas y únicamente están representadas con un área significativa por encinares meso y supra mediterráneos nevadenses.
- También los matorrales subseriales son importantes en las cotas medias de Sierra Nevada y algún punto de la Sierra de Gádor.
- El matorral serial es la unidad más ampliamente extendida.
- Unidades originadas por causas antrópicas directas (cultivos, tomillares nitrófilos y pinares de repoblación) predominan sobre la vegetación natural, ocupando hasta desde fondos planos de valles fluviales (ramblas) a laderas de importante pendiente, donde se realiza

aterrazamiento, si bien, existen evidencias de la recesión que ha tenido lugar en ciertas zonas del último tipo de explotación.



- — — — — Límite provincial
- Límite de la cuenca hidrográfica

E. 1: 200.000

III. METODOLOGIA

El planteamiento metodológico de este estudio se ha llevado a cabo desde dos puntos de partida:

1. Para que sea posible la evaluación correcta de los grados de erosión hídrica en la zona de estudio, es necesario recurrir a información adecuada mediante el análisis de los factores causantes de la misma (Keech, 1978).

En nuestro caso se ha observado que los factores determinantes son:

- El estado y características de la cubierta vegetal
- El pendiente del terreno
- El erosionabilidad del terreno

Por lo que respecta al factor climático, que también aporta una carga importante al proceso erosivo, se considera reflejado en el desarrollo de la vegetación, identificación de la red de drenaje o las formas de relieve en las zonas que resultan homogéneas en otro caso, por lo que se evita la necesidad de utilización de este tipo de datos (Keech, 1978).

La cuantificación de los efectos resultantes, permitiría determinar la intensidad con que se presentan los fenómenos erosivos, mediante la estimación de las pérdidas de suelo anuales.

2. La evaluación se hace posible mediante la Ecuación Universal de Pérdida del Suelo (USLE):

$$A = K \times R \times L \times S \times C \times P$$

Donde:

A: pérdida de suelo (Tm/Ha/año)

K: erosionabilidad del suelo

R: erosividad de la lluvia

L: longitud de la pendiente

S: ángulo de pendiente

C: cultivo y ordenación

P: prácticas de conservación

Sin embargo, según Hudson (1978), al haberse desarrollado esta ecuación para el Este de Estados Unidos, la extrapolación a zonas como África o Europa, donde las características y tipo de suelos, prácticas de cultivo, etc. son diferentes, no está justificada.

A esto se añade que, las relaciones con que trabaja son de tipo empírico, es decir, diseñadas para ajustar datos observados, deben comprobarse experimentalmente si se desea aplicarlas fuera de contexto.

Pese al problema de extrapolación de la USLE al área mediterránea, se ha considerado que estos seis factores acotan *cualitativamente* los procesos erosivos y se pueden agrupar de tal manera que sea posible extraer la información a partir de imágenes de satélite. De esta forma **L x S** vendrá representado por el porcentaje de la pendiente topográfica; **K x R** se puede evaluar a partir de la determinación de la densidad de la red de drenaje y **C x P** por el estado y características de la cubierta vegetal. La agrupación resultante coincide de manera significativa con los factores causantes de erosión que se pueden determinar en la zona.

La información correspondiente a cada uno de los grupos resultantes se puede obtener a partir de diferentes fuentes de datos:

- para poder definir el estado y características de la cubierta vegetal se pueden utilizar imágenes de satélite (imagen Landsat 5-TM 200/34/4 de fecha 16/7/86).
- la información necesaria para obtener el porcentaje de pendiente topográfica puede obtenerse a partir de la generación de un modelo digital de terreno (bien por digitalización de curvas de nivel o a partir de pares estereoscópicos SPOT).
- la red de drenaje se puede extraer partir de fotografías aéreas o imágenes de satélite con alta resolución espacial.

Para la obtención de una cartografía de riesgos de erosión a partir de los mapas temáticos se hace necesaria la integración de la información que éstos nos proporcionan. Esto es posible debido a la compatibilidad que presentan los mismos, al introducirlos en un *Sistema de Información Geográfica* que pueda manejar datos tanto en forma ráster como vectorial.

Superado este obstáculo, se realiza la integración de los mapas dos a dos con la intención de obtener, en primer lugar, una cartografía indicativa del grado de fragilidad del sustrato y finalmente, un mapa del riesgo de erosión de la cuenca estudiada.

IV. TRATAMIENTO Y ELABORACION DE DATOS

La finalidad que se ha perseguido en esta fase es la obtención de mapas temáticos representativos de los factores que se han considerado determinantes.

IV.1. Imágenes Landsat

Tras la realización de las correcciones pertinentes de la imagen (radiométricas y geométricas), se llevado a cabo un proceso de clasificación supervisado por métodos de máxima probabilidad para a la obtención de un mapa de tipos de cubierta.

Para ello, sobre una imagen en falso color (4-5-3) previamente seleccionada en función de las características de la imagen y de la información aportada por las distintas bandas TM, se ha llevado a cabo la selección de áreas de entrenamiento. Sobre las que se realiza un muestreo opinático para la descripción de las clases.

Tras la obtención de la imagen clasificada se lleva a cabo una agrupación de las clases resultantes según criterios de densidad de vegetación, grado de alteración del sustrato y tipo de cubierta.

Tras la delimitación de la cuenca del Adra, se obtiene un mapa de cubiertas en el que se distinguen ocho clases (Tabla 1).

Tabla 1. Superficie (en ha) ocupada por los distintos tipos de cubierta.

Tipo de cubierta	Superficie (ha)	%
Regadío+huerta	3.857,3	5.72
Matorral s.s.	7.359,8	10.92
Matorral degradado	20.897,7	31.10
Monte Bajo	17.245,7	25.59
Arbolado denso	5.010,0	7.43
Forestal	4.858,9	7.21
Erial+improductivo	8.147,9	12.09

IV.2. Datos cartográficos

Mediante la digitalización de curvas de nivel de los mapas de escala 1:100.000, y posterior interpolación lineal para los valores de cada pixel se obtiene un modelo digital de terreno.

Este se utiliza como base para la obtención de un mapa en el que queda reflejado el porcentaje de pendiente.

Para ello, se utiliza un filtro de gradiente en dirección Norte-Sur y otro en dirección Este-Oeste (Figura 2), con lo que se consiguen dos imágenes de aspecto sombreado.



Figura 2. Filtros direccionales.

A continuación se aplica la siguiente fórmula matemática que considera las dos imágenes obtenidas:

$$\% \text{ pdte.} = \text{SQRT}((\text{dfdx}/30) \times (\text{dfdx}/30) + (\text{dfdy}/30) \times (\text{dfdy}/30)) \times 100$$

Siendo:

dfdx: imagen obtenida con el filtro en dirección E-W

dfdy: imagen obtenida con el filtro en dirección N-S

y en la que el valor 30 representa el valor del píxel en metros.

Su aplicación permite obtener un mapa en el que se visualizan los porcentajes de pendiente de 1 a 100 como valores de gris. Se realizó entonces una agrupación de éstos en intervalos de acuerdo con las características geomorfológicas de la zona, con lo que se obtiene el mapa de pendientes final (Tabla 2).

Tabla 2. Superficie (en ha) ocupada por los distintos intervalos de pendiente.

Clase de Pendientes	Rango de Pendientes (%)	Superficie (ha)	%
1	0-12	16.463,9	22.93
2	12-18	11.156,6	15.54
3	18-24	12.245,1	17.05
4	24-35	18.713,4	26.06
5	>35	13.211,2	18.40

IV.3. Fotografías Aéreas

La extracción de la red de drenaje se realiza a partir de la interpretación de las fotografías aéreas e imágenes de alta resolución (SPOT).

Una vez finalizada esta fase, se digitaliza el mapa resultante y a partir de la red se ha obtenido el mapa temático correspondiente a la densidad de red de drenaje. El proceso consiste en la aplicación de un *density slicing* previo al suavizado de la red digitalizada con un filtro de paso bajo.

El mapa elaborado de densidad de drenaje pone de manifiesto la simetría que presenta la red (Tabla 3).

Tabla 3. Superficies englobadas en los distintos grados de densidad de red de drenaje

	Densidad Red	Superficie (ha)	%
DENSIDAD CRECIENTE	1	13.430,1	18.29
	2	14.321,1	20.15
	3	12.267,4	17.26
	4	7.727,0	10.87
	5	8.824,7	12.41
	6	10.028,6	14.11
	7	3.584,0	5.04
	8	874,6	1.23

V. RESULTADOS

Tomando como base los mapas temáticos obtenidos previamente, se pretende llegar a obtener índices del grado de fragilidad del sustrato y de la sensibilidad a la erosión de las distintas zonas de la cuenca.

El grado de fragilidad se pone de manifiesto mediante el análisis del tipo de cubierta y de su distribución en función de la pendiente. Para la obtención del mapa de fragilidad, los criterios que se siguen son la consideración de cada una de las clases de cubierta y el análisis del grado de protección del sustrato que realizan en función de su distribución a lo largo de los intervalos de pendiente. Estos criterios tienen su expresión en una matriz bidimensional del tipo: (Figura 3)

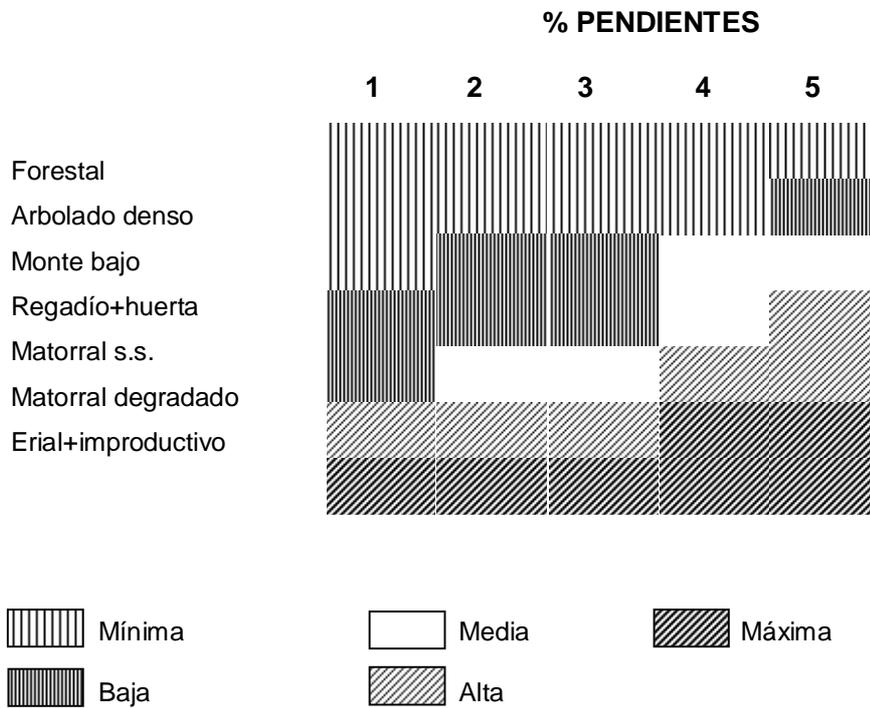
Figura 3. Matriz bidimensional de valoración de fragilidad

	1	2	3	4	5
Forestal	8	8	8	8	8
Arbolado denso	8	8	8	8	8
Monte bajo	8	6	6	5	5
Regadío + huerta	7	6	6	5	3
Matorral s.s.	6	5	5	4	4
Matorral degradado	4	3	3	2	2
Erial + improductivo	1	1	0	0	0

En la que se tiene como entradas las clases de cubierta y los intervalos de pendientes y como salida una serie de valores que aumentan de forma inversamente proporcional a la fragilidad del sustrato.

Las clases resultantes se agrupan siguiendo los mismos criterios para finalmente obtener cinco intervalos de fragilidad creciente (Tabla 4) en un mapa simplificado.

Tabla 4. Intervalos de fragilidad.



A partir de este mapa se realiza una evaluación de la superficie ocupada por cada una de las clases establecidas (Tabla 5).

Tabla 5. Superficies ocupadas por los distintos intervalos de fragilidad.

Grado de fragilidad	Superficie (ha)	%
Muy elevado	8520.5	12.63
Elevado	23633.6	35.05
Medio	21891.9	32.46
Moderado	1721.5	2.55
Bajo	11659.7	17.29

Por lo que respecta al riesgo de erosión o erosión potencial del terreno, se puede obtener mediante un procedimiento similar al caso anterior, teniendo en cuenta el mapa resultante y aquel en el que se representa la red de drenaje.

La relación entre ambos se basa en el hecho de que aquellas zonas con una densidad de drenaje mayor, son más susceptibles a la eliminación de materiales edáficos que aquellas en las que la densidad es menor. Si además de una red densa confluyen factores como una pendiente fuerte y una cubierta escasa o nula, esto da lugar a que estos terrenos sean los que tendrán mayor riesgo de erosión frente al extremo opuesto.

Sobre esta base se ha diseñado una tabla bidimensional (Tabla 6), proceso tras el cual se a reagrupado con el mismo criterio, para finalmente obtener un mapa simplificado en el que se pueden distinguir nueve clases (Tabla 7).

Tabla 6. Matriz bidimensional de valoración de riesgo erosivo.

		FRAGILIDAD				
		1	2	3	4	5
DENSIDAD DE DRENAJE	1	13	10	7	4	1
	2	13	10	7	4	1
	3	13	10	7	4	1
	4	14	11	8	5	2
	5	14	11	8	5	2
	6	14	11	8	5	2
	7	15	12	9	6	3
	8	15	12	9	6	3

Tabla 7. Intervalos de riesgo erosivo. Agrupación de términos.

		FRAGILIDAD		
		ALTA	MEDIA	BAJA
DENSIDAD DE DRENAJE	BAJA	Medio 7	Bajo 4	Mínimo 1
	MEDIA	Alto 8	Medio 5	Bajo 2
	ALTA	Máximo 9	Alto 6	Medio 3

El porcentaje de superficie ocupada por cada una de ellas se puede ver en la Tabla 8.

Tabla 8. Superficies cubiertas por los distintos intervalos de riesgo de erosión.

Riesgo	Superficie (ha)	% sup.
mínimo (1)	9549.3	13.43
bajo (2)	3643.5	5.12
bajo (4)	893.8	1.25
medio (3)	12595.0	17.66
medio (5)	8971.7	12.68
medio (p)	1487.6	2.09
alto (6)	17874.7	25.15
alto (8)	13965.2	19.65
máximo (9)	2077.1	2.92

Se observa que con un riesgo máximo de erosión se encuentra un 2,92% de la cuenca, el cual se asocia espacialmente con cárcavas y márgenes de ríos en zonas de importante desnivel topográfico. En conjunto, los terrenos con mayor grado de riesgo, cubren aproximadamente el 27% del total de la cuenca, con lo que se puede concluir que los procesos erosivos en la cuenca del Adra se revelan con una magnitud importante.

VI. CONCLUSIONES

Para el trabajo realizado se pueden considerar las siguientes valoraciones:

- La utilidad de los datos de teledetección queda demostrada en la aplicación de los mismos al estudio de los procesos erosivos en la cuenca del Adra. Los datos Landsat-5 TM proporcionan una base con suficiente resolución espacial y espectral como para poder reconocer con un grado de exactitud elevado las zonas donde éstos están teniendo lugar.
- El resultado obtenido a partir de la metodología planteada es un documento indicativo del riesgo erosivo en la zona de estudio. La validez de los mapas temáticos obtenidos queda demostrada en el trabajo de campo realizado, donde ha quedado patente que la cantidad de información proporcionada por la clasificación de la cubierta obtenida digitalmente es superior a la obtenida por medio de otras fuentes de información como los *Mapas de Cultivos preexistentes*.
- Por lo que respecta a la metodología en sí, se considera que, en función de los resultados obtenidos, es válida en la zona de estudio, si bien, es un factor interesante a tener en cuenta la adquisición de datos de campo mediante los que evaluar factores que permitan obtener la medida de pérdida de suelo, para que fuera posible una contrastación con los resultados obtenidos si éstos fueran de tipo numérico.
- En cuanto a los documentos obtenidos, se ha conseguido una valoración cualitativa de la intensidad de los procesos erosivos, siendo posible una cuantificación mediante la extrapolación adecuada para la cuenca de los valores tabulados para los distintos factores considerados o a través de la toma de muestras (*pérdida de suelo*) en el campo.
- Por último, frente a los métodos convencionales, los datos con los que se ha tratado en este estudio presentan ventajas no sólo a nivel del volumen de información con que es posible trabajar, sino también, por la rapidez y exactitud (y consecuentemente abaratamiento de costes) que los métodos con los que se trabaja implican. Cabe añadir la capacidad de seguimiento multitemporal de los procesos a lo largo del tiempo.

AGRADECIMIENTOS

El presente estudio ha sido realizado por la sociedad española IBERSAT S.A. en el marco del área de "Soil Quality" perteneciente al Cuarto Programa de Investigación Medio ambiental de la **COMUNIDAD ECONOMICA EUROPEA** (Comisión de Investigación, DG XII, Dirección General de Ciencia, Investigación y Desarrollo) siendo el principal objetivo, el estudio de los procesos de erosión y sedimentación en el área mediterránea, utilizando datos de satélite.

REFERENCIAS

- FAO, 1977.** "World Map of Desertification". United Nations Conference on Desertification, Nairobi.
- HUDSON, N.W. 1978.** "Erosion Prediction with insufficient data". In Ed. M. de Broodt and D. Gabriels. Assessment of Erosion: 279-284
- ICONA., 1982.** "Paisajes erosivos en el sureste español". Ensayo de metodología para el estudio de su cualificación y cuantificación . Proyecto Lucdeme. ICONA. Monografía nº. 2 - 67 pp.
- KEECH, M.A., 1978.** "Remote Sensing in Planning the Control of Erosion". In Ed. M. de Broodt and D. Gabriels. Assessment of Erosion: 419-426
- KIRBY, M.S. & MORGAN, R.P.C., 1984.** "Erosión de Suelos". Ed. Limasa (México).
- LANGRAN, IC J., 1983.** "Potential for monitoring soil erosion modelling components from remotely sensed data". Proc. Int. Symp. Geoscience and R.S. (IGARSS' 83). Vol. 2:2/1-2/4
- NOSSEIR, M.K., 1981.** "Evaluating the dynamics of erosion affected by land use changes, from remotely sensed data". Technical Papers of the ASP. Int.: 203-214.
- SABINS, F.F., 1978.** "Remote Sensing. Principles and Interpretation", Ed.
- WEISMILLER, R.A. & KAMINSKY, S.A., 1978.** " Application of remote sensing methodology to soil survey research ". J. Soil & Water Cons. 33(6): 287-289.