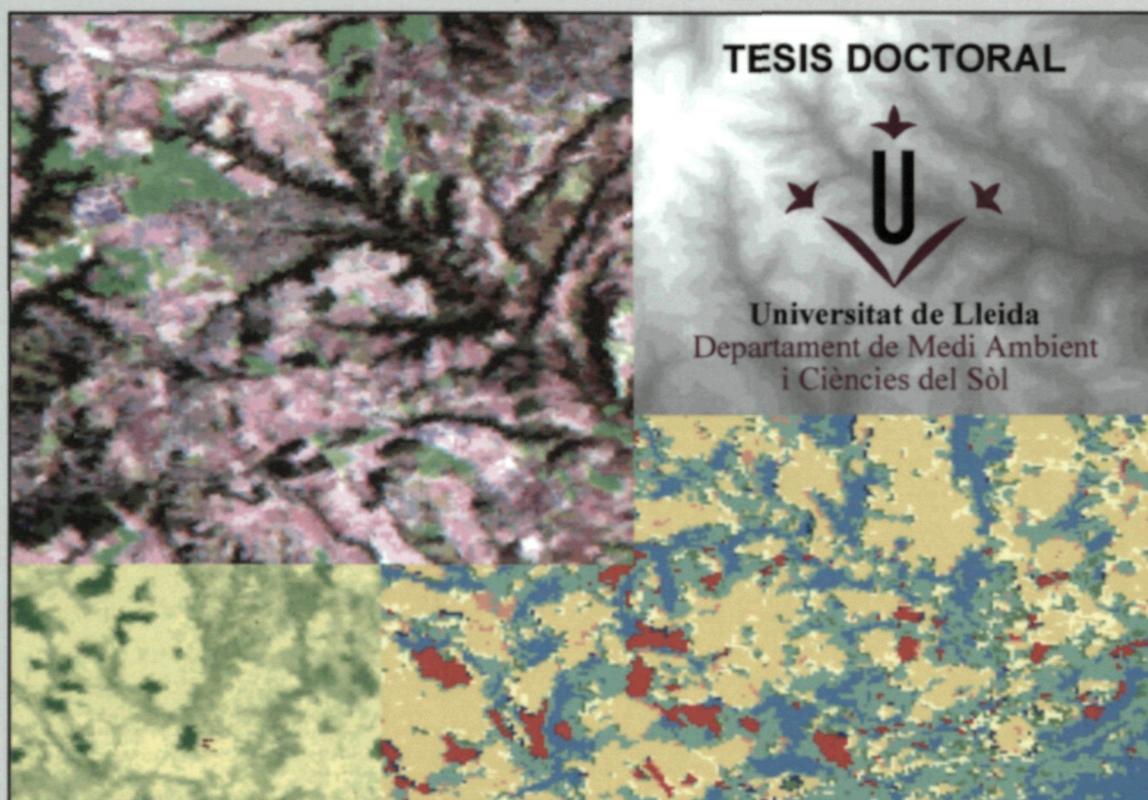


Suelo-Paisaje-Erosión. Erosión por cárcavas y barrancos en el Alt Penedès - Anoia (Cataluña).

**Un enfoque de estudio mediante tecnologías de la información espacial:
Bases de datos, Sistemas de Información Geográfica y Teledetección.**



Soil-Landscape-Erosion. Gully erosion in the Alt Penedès - Anoia (Catalonia).

**A spatial information technology approach: Spatial databases,
Geographical Information Systems and Remote Sensing.**

Lleida, septiembre de 1998

*A mis padres, Antonio y Pilar,
a mi hermana María Jesús,
y a Tere.*



UNIVERSITAT DE LLEIDA
Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària
Departament de Medi Ambient i Ciències del Sòl

**Suelo-Paisaje-Erosión. Erosión por cárcavas y barrancos en el
Alt Penedès – Anoia (Cataluña).**

Un enfoque de estudio mediante tecnologías de la información espacial: Bases de
Datos, Sistemas de Información Geográfica y Teledetección.

**Soil-Landscape-Erosion. Gully erosion in the Alt Penedès –
Anoia (Catalonia).**

A spatial information technology approach: Spatial databases, Geographical
Information Systems and Remote Sensing



Universitat de Lleida
Registre General

15 SET. 1998

Memoria presentada por:

José Antonio Martínez Casasnovas

Para optar al grado de Doctor

E: 4886

S:

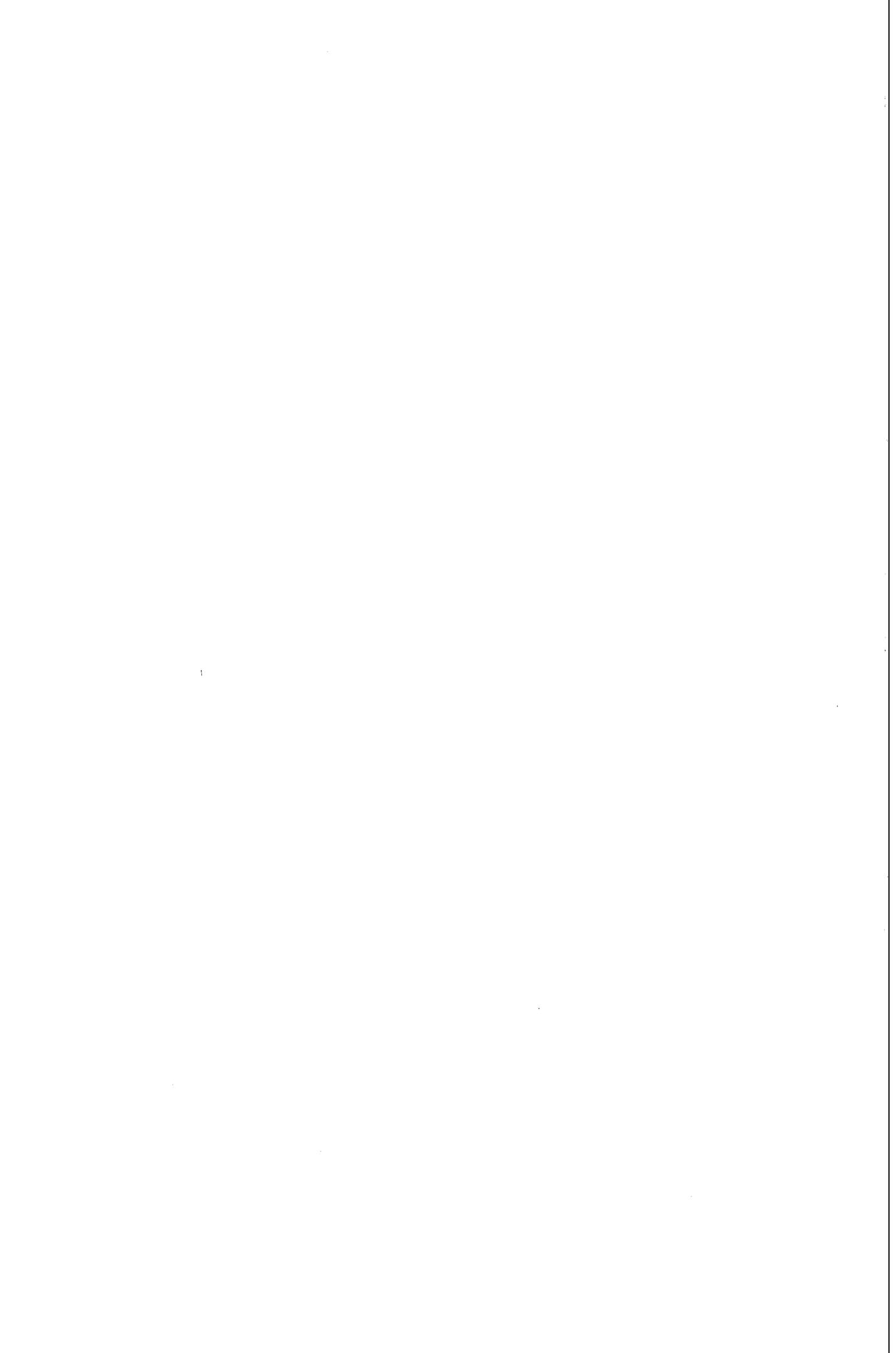


Director: Prof. Dr. Jaume Porta i Casanellas

El director de la tesis,

El doctorando,

Lleida, septiembre de 1998



RESUMEN

La presente investigación supone una contribución al desarrollo de metodologías que amplíen la aplicabilidad de los sistemas de información geográfica (SIG), la teledetección y las bases de datos al análisis del territorio. En concreto, la investigación se centra en el análisis de las relaciones suelo-paisaje, de las propiedades de los suelos y de los procesos de erosión hídrica, particularmente los procesos de erosión por cárcavas y barrancos. La investigación se desarrolla en las comarcas de l'Alt Penedès y l'Anoia (Cataluña), un área donde la viña para producción de vinos de alta calidad y cavas es el principal cultivo, pero donde la forma actual de los usos y manejo del suelo, con escasas medidas de conservación, condiciona la sostenibilidad futura de los presentes usos agrícolas.

Uno de los resultados principales de la investigación es el sistema de información de suelos (SIS), desarrollado a una escala semidetallada a nivel de toda el área de estudio. Este SIS ha permitido analizar la distribución espacial de los principales tipos de suelo, sus propiedades y su comportamiento frente a la acción de los procesos erosivos y actuaciones antrópicas. También, constituye la estructura sobre la cual poder desarrollar bases de datos espaciales de suelos más detalladas.

Otra de las aportaciones es el conjunto de metodologías, basadas en el análisis multitemporal de fotografías aéreas y de modelos digitales de elevaciones (MDE), en la clasificación multiespectral de imágenes de satélite y en operaciones de análisis espacial mediante SIG, conducentes al análisis de procesos de erosión por cárcavas y barrancos. La aplicación de estas metodologías al área del Alt Penedès – Anoia ha permitido confirmar la importante influencia de la acción antrópica en la aceleración de los procesos de erosión actual, que se ve reflejada principalmente en:

- a) las propiedades de los suelos, con la puesta en superficie de materiales de horizontes subyacentes ricos en carbonato cálcico, calcilutitas o areniscas,
- b) el análisis morfométrico y morfográfico de las geoformas, que muestra un modelado del paisaje con vertientes complejas y barrancos, y una alta densidad de cárcavas,
- c) el análisis de las tasas de erosión por cárcavas y barrancos, que han sido particularmente elevadas a partir de la deforestación generalizada con roturación de tierras para la plantación de viña a partir del siglo XVI, y sobre todo a partir de la mecanización de los cultivos.

La investigación realizada confirma la importancia de combinar técnicas de campo y laboratorio con las técnicas de teledetección para la adquisición de datos y conocimiento de los procesos de erosión, y con las técnicas de SIG con fines de modelización.

Palabras clave: Sistemas de Información Geográfica (SIG), Teledetección, Bases de datos espaciales, Sistemas de Información de Suelos (SIS), Relaciones suelo-paisaje, Erosión por cárcavas y barrancos.

SUMMARY

This research represents a contribution to the development of methodologies to extend the applicability of geographical information systems (GIS), remote sensing and spatial databases to terrain analysis, particularly soil-landscape relationships, soil properties and hydric erosion processes, and more specifically gully erosion processes. The research is carried out in the l'Alt Penedès y l'Anoia (Catalonia), an area where vineyards for high quality and "cava" production are the main crop, but where the present manner of soil use and management, with few control measures, determines the future sustainability of the present agricultural uses.

One of the main results of the present research is the soil information system (SIS), that contains semi-detailed scale information about the soils of the study area. It allowed the analysis of the spatial distribution of the main soil types, their properties and their behaviour in front of the actuation of erosion processes and anthropic transformations. Also, it constitutes the basic structure from which more detailed soil spatial databases can be developed.

Another contribution is the set of methodologies, based on the multitemporal analysis of aerial photographs and digital elevation models (DEM), multispectral classification of satellite images and GIS spatial analysis, that is addressed to the analysis of gully erosion processes. The application of those methodologies to the Alt Penedès – Anoia area revealed the important influence of the anthropic factor in the acceleration of the present erosion processes, that is observed through:

- a) the soil properties, with the presence on surface of materials that are rich in calcium carbonate, calcilutites or sandstones from subsurface layers,
- b) the morphometric and morphographic analysis of the geomorphs, which shows a shape of the landscape with complex slopes and large gullies, and a high density of gullies,
- c) the analysis of the rates of gully erosion, that have been particularly high since the generalised deforestation to plant vineyards in the XVI Century and, above all, since the advent of mechanisation.

This research confirms the importance of combining field and laboratory techniques with remote sensing techniques for data acquisition and knowledge concerning the occurring erosion processes, and with GIS techniques for modelling.

Key words: Geographical Information Systems (GIS), Remote sensing, Spatial databases, Soil Information Systems (SIS), Soil-landscape relationships, Gully erosion.

RESUM

Aquesta investigació suposa una contribució al desenvolupament de metodologies que amplien l'aplicabilitat dels sistemes d'informació geogràfica (SIG), la teledetecció i les bases de dades en l'anàlisi del territori. En concret, la investigació es centra en l'anàlisi de les relacions sòl-paisatge, de les propietats dels sòls y dels processos d'erosió hídrica, particularment els processos d'erosió per xaragalls i barrancs. La investigació se porta a terme en les comarques de l'Alt Penedès y l'Anoia (Catalunya), una àrea on la vinya per a la producció de vins d'alta qualitat i caves és el principal cultiu, però on la forma actual de l'ús i maneig del sòl, amb escasses mesures de conservació, condiona la sostenibilitat futura dels usos agrícoles presents.

Un dels resultats principals de la investigació és el sistema d'informació de sòls (SIS), desenvolupat a una escala semidetallada a nivell de tota l'àrea d'estudi. Aquest SIS ha permès analitzar la distribució espacial dels principals tipus de sòl, les seves propietats i el seu comportament davant l'acció dels processos erosius i de les actuacions antròpiques. També constitueix l'estructura sobre la qual es poden desenvolupar bases de dades espacials de sòls més detallades.

Una altra aportació és el conjunt de metodologies basades en l'anàlisi multitemporal de fotografies aèries, de models digitals d'elevacions (MDE), i també en la classificació multiespectral d'imatges de satèl.lit i en les operacions d'anàlisi espacial mitjançant SIG, que condueixen a l'anàlisi de processos d'erosió per xaragalls i barrancs. L'aplicació d'aquestes metodologies a l'àrea de l'Alt Penedès – Anoia confirma la important influència de l'acció antròpica en l'acceleració dels processos d'erosió actual. Aquesta acceleració dels processos erosius es reflecteix principalment en:

- a) les propietats dels sòls, amb la posada en superfície de materials d'horitzons subjacents, rics en carbonat càlcic, calcilutites o arenisques,
- b) l'anàlisi morfomètric i morfogràfic de les geofomes, que mostra un modelat del paisatge amb vessants complexes i barrancs, i una alta densitat de xaragalls incipients,
- c) l'anàlisi de les taxes d'erosió per xaragalls i barrancs, que han estat particularment elevades des de la deforestació generalitzada amb roturació de terres per a la plantació de vinya, a partir del segle XVI, sobretot, a partir de la mecanització dels cultius.

La investigació realitzada confirma la importància de combinar tècniques de camp i laboratori amb tècniques de teledetecció per a l'adquisició de dades i coneixement dels processos d'erosió, i amb tècniques de SIG amb finalitat de modelització.

Paraules clau: Sistemes d'Informació Geogràfica (SIG), Teledetecció, Bases de dades espacials, Sistemes d'Informació de Sòls (SIS), Relacions sòl-paisatge, Erosió per xaragalls i barrancs.

Prefacio

La presente tesis representa el final una importante etapa, iniciada allá por el año 1992, de mi dedicación al estudio y aplicación de las tecnologías de la información espacial, como lo son los sistemas de información geográfica (SIG), la teledetección y las bases de datos, al análisis del territorio.

Tras una primera etapa, en la que el uso de estas tecnologías ha estado mayoritariamente orientado a la representación cartográfica, actualmente se han convertido en herramientas de uso cotidiano en el análisis integrado de la información territorial.

Estas tecnologías no hacen nada por sí solas, sino que necesitan de estructuras de datos y de procedimientos o métodos de análisis, que ensamblen las herramientas que se nos ofrecen, con el fin de resolver los problemas planteados de análisis espacial. En este sentido, el presente trabajo de investigación pretende ser una contribución al desarrollo de metodologías que amplíen la aplicabilidad de las tecnologías de la información espacial al análisis del territorio, y en concreto al estudio de los suelos y los procesos de erosión por cárcavas y barrancos. La investigación se centra en las comarcas de l'Alt Penedès y l'Anoia (Cataluña), un área donde la forma actual de los usos del suelo, con escasas medidas de conservación, condiciona la sostenibilidad futura de los presentes usos agrícolas.

Esta tesis se organiza en diferentes capítulos. En el capítulo 1 se exponen las características principales del área de estudio, con hincapié en los procesos erosivos existentes, la necesidad de información territorial y las metodologías para la adquisición y el análisis de la información del territorio. También, se presentan los objetivos generales de la investigación. En el capítulo 2 se presenta una síntesis de la geología del Alt Penedès – Anoia y el análisis de las geoformas, que es la base sobre la que se desarrolla y se estructura el Sistema de Información de Suelos (capítulo 3). A partir de este sistema se analizan las propiedades de los suelos en relación con los procesos de erosión hídrica. El capítulo 4 se dedica a la investigación y modelización de los procesos de erosión por cárcavas y barrancos que ocurren en el área de estudio. El capítulo 5 recoge, en diferentes secciones, distintas metodologías basadas en el uso de tecnologías de la información espacial (bases de datos, SIG y teledetección), que han servido para el desarrollo de los objetivos generales de la investigación. Las secciones de este capítulo constituyen diferentes publicaciones. Finalmente, el capítulo 6 presenta las conclusiones generales de la investigación.

Diversas personas y entidades han colaborado de una manera u otra en que esta tesis haya salido adelante, y a las cuales deseo expresar mi más sincero agradecimiento.

En primer lugar, quiero agradecer al **Prof. Dr. Jaume Porta** su particular visión de futuro, que me animó a adentrarme en este apasionante mundo de las tecnologías de la información espacial, y en particular en los SIG. También deseo agradecerle sus consejos, correcciones y discusiones como director de la tesis, que han enriquecido el contenido de la presente investigación.

Agradezco al **Departament de Medi Ambient i Ciències del Sòl** de la Universitat de Lleida, donde he desarrollado la parte principal de la investigación, y a todos sus miembros (mis compañeros), la colaboración y apoyo mostrados en todo momento. Al **Department of Geographical Information Processing and Remote Sensing**, Wageningen Agricultural University (Holanda), donde también he desarrollado parte de la investigación, bajo la dirección y consejo del **Prof. Dr. Martien Molenaar** y la inestimable colaboración del **Prof. John H. Stuver**.

Al **Prof. Dr. Peter Bullock**, de la **School of Agriculture, Food and Environment**, Cranfield University (Reino Unido) y al **Prof. Dr. Alfred Zinck**, del **Department of Land Resources and Urban Sciences, Soil Survey Division**, International Institute for Aerospace Surveys and Earth Sciences, Enschede (Holanda), por su participación como evaluadores externos de la presente tesis, así como por la atención recibida en todo momento.

Mi agradecimiento a la **CICYT** y **DGCYT**, que han financiado los proyectos de investigación en los cuales se ha desarrollado la tesis, y a la **CIRIT**, por las becas recibidas. Estas becas me permitieron ampliar mis estudios en el extranjero, realizando un master en sistemas de información geográfica en el ITC y la Wageningen Agricultural University (Holanda), y también llevar a cabo parte de la investigación relacionada específicamente con la presente tesis, durante 3 meses en la Wageningen Agricultural University.

Además, durante la realización de la investigación he contado con la colaboración de diversas personas a las cuales deseo expresar mi agradecimiento, como **Jaume Boixadera**, por sus enriquecedoras discusiones sobre el análisis de la información de suelos del área de estudio; **Jordi Roca**, por su colaboración en la descripción geomorfológica; **Carlos López** y **Josep M. Cervera**, que me ayudaron y acompañaron en los trabajos de campo de descripción de calicatas y de observación de los procesos de erosión por cárcavas y barrancos. A **Anika Meyer**, con quien he compartido las ideas sobre modelización del desarrollo de cárcavas, y a quien estoy muy agradecido por el interés y constancia mostrados durante su participación en la presente investigación. A **Montse Antúnez**, un especial agradecimiento, no sólo por su colaboración en los análisis de suelos, sino por su amistad, apoyo y ánimo en todo momento.

A **Teresa Estela**, pel seu suport, per la seva infinita paciència, pel seu somriure en els moments més difícils i per moltes altres coses.

Finalmente, quiero agradecer de forma muy especial y muy particular a mi familia y a mis amigos, su constante apoyo y el ofrecimiento desinteresado de colaboración en todo momento. Realmente vosotros, con vuestro apoyo, sois quien ha hecho posible que esta tesis vea la luz.

José A. Martínez Casasnovas

Lleida, septiembre de 1998

Tabla de Contenidos

Resumen	i
Summary.....	iii
Resum	v
Prefacio.....	vii
1. Introducción general.	1
2. Análisis morfométrico y morfográfico de geoformas en el Alt Penedès – Anoia.	21
3. Suelos del Alt Penedès – Anoia: Análisis de las relaciones suelo-paisaje y Sistema de Información de Suelos.	71
4. Gully erosion in the Alt Penedès – Anoia region (NE Spain): A remote sensing and GIS perspective for mapping and modelling.....	135
5. Técnicas de teledetección, SIG y bases de datos espaciales para cartografía y modelización de suelos-paisaje-erosión. (<i>Remote sensing, GIS and spatial database techniques for soil-landscape-erosion mapping and modelling</i>).	199
5.1. Obtención automática de relaciones espaciales en el análisis del territorio: Relaciones de adyacencia (vecindad) entre geoformas en el Alt Penedès – Anoia (Cataluña).	201
5.2. A cartographic and database approach for land cover/use mapping and generalisation from remotely sensed data.	221
5.3. Automatic delineation of drainage networks and elementary catchments from Digital Elevation Models.	243
5.4. Prediction of existing gully erosion in vineyard parcels of the NE Spain: A logistic modelling approach.	267
6. Conclusiones generales.....	289
Anejos.	293
Índice de tablas.	335
Índice de figuras.	341
Abreviaciones.	351

1. Introducción general

1.1. Introducción

La presente investigación se enmarca dentro del Proyecto de investigación sobre el Control de la Erosión en Suelos de Viña de Producción de Vinos de Alta Calidad en el NE de España (CESVI), llevado a cabo por el Departament de Medi Ambient i Ciències del Sòl de la Universitat de Lleida a través de dos proyectos financiados:

- Efecto de las características de las lluvias y de las propiedades de los suelos en la erosión en viñedos de producción de vino de alta calidad en el NE de España: Modelización y prognosis. (Proyecto CICYT, 1991- 1994).
- Energía cinética y erosividad de las lluvias en zonas vitícolas del área mediterránea (Anoia-Penedès): Modelización de procesos erosivos por cárcavas y barrancos. (Proyecto DGICYT, 1995-1998).

Dentro del área mediterránea del NE de España, una de las zonas de mayor tradición en el cultivo de la viña es la constituida por las comarcas de l'Alt Penedès y l'Anoia, cuya producción de vinos y cavas se regula entorno a las Denominaciones de Origen *Penedès* y *Cava*.

En estas comarcas, los sistemas tradicionales de conservación de suelos y aguas han estado integrados en los sistemas de cultivo de la viña, frenando la erosión en un medio que, por sus características intrínsecas (precipitaciones, geomorfología, litología y suelos), tiene un alto potencial para la erosión hídrica.

A nivel de parcela, los procesos de erosión más comunes son la erosión por salpicadura, la erosión laminar difusa y la erosión por escorrentía superficial concentrada. Sin embargo, a nivel regional el rasgo fundamental del Alt Penedès-Anoia es la incisión de una densa y profunda red de cárcavas y barrancos, hecho que destaca en la observación de campo y de imágenes de teledetección (Figura 1.1).

La erosión en el Alt Penedès – Anoia viene condicionada por procesos tectónicos que han tenido lugar a escala regional (Gallart 1981). Actualmente, el desarrollo e incisión de la red de drenaje continua, pero con una fuerte influencia de la actividad humana, especialmente por la gran extensión de los cultivos y por el abandono de las medidas tradicionales de conservación de suelos (Poch *et al.* 1996). Las consecuencias más graves repercuten en los recursos del territorio, y en particular en los suelos.

En el Alt Penedès – Anoia, diversos estudios previos a la presente investigación han puesto de manifiesto la necesidad de disponer de información de suelos, con el fin de orientar mejor el uso del terreno. En primer lugar, la ocurrencia de intensos procesos de erosión hídrica condiciona la sostenibilidad del cultivo predominante: la viña. Ello exige información de suelos a escala detallada o semidetallada, para poder priorizar las áreas de actuación ante la pérdida de suelo. En segundo lugar, la toma de decisiones debe llevar a proponer medidas de conservación de suelos y aguas a nivel de parcela. La mecanización en la zona permite prever la transformación de las parcelas (movimientos de tierra y nivelaciones) en las nuevas plantaciones de viña, la cual exige información de suelos a nivel detallado. Esta información verá incrementada su utilidad en un sistema de

información de suelos (SIS), que permita al usuario y al gestor de la información un rápido acceso, mayor capacidad de análisis y la posibilidad de actualización.

Por otra parte, para el control de la erosión por cárcavas y barrancos, faltan estudios que integren cartografía de las áreas afectadas por estos procesos erosivos, su grado de erosividad actual y patrón de crecimiento de cárcavas a nivel de parcela, de desarrollo de los barrancos existentes, y la utilización de toda esta información. Estos estudios han de conducir a la predicción de áreas con potencial para la erosión por cárcavas y barrancos, y a la priorización de actuaciones en establecimiento de medidas de control.

El denominador común del tipo de información a tratar es que se trata en su mayoría de información espacial o georeferenciada, tanto en el análisis de las propiedades de los suelos y los efectos de la erosión, como en el análisis de los procesos y del patrón de la erosión por cárcavas y barrancos. La adquisición de esta información y el procesamiento rápido y eficaz del gran volumen de datos necesarios, particularmente en estudios a escala regional, requiere del empleo de técnicas de la información espacial como son las bases de datos, la teledetección y los sistemas de información geográfica (SIG). Estas tecnologías son herramientas muy útiles, y su uso en el estudio, análisis y planificación del territorio interesa sea investigado para poder ampliar su aplicabilidad actual.

En este contexto, la presente investigación tiene una doble finalidad: a) el análisis del patrón de distribución espacial y de las propiedades de los suelos, conducentes al desarrollo de un sistema de información de suelos del Alt Penedès – Anoia, y b) el análisis de los procesos de erosión por cárcavas y barrancos, y de su patrón de distribución, conducentes a la modelización del riesgo de erosión. Ambos fines se abordan mediante el desarrollo de técnicas de bases de datos, teledetección y sistemas de información geográfica, como metodología de trabajo para priorizar actuaciones de conservación y de sostenibilidad de los usos del suelo.

1.2. El Alt Penedès – Anoia. Características del territorio y el problema de la erosión hídrica frente a la sostenibilidad

1.2.1. Localización del área de estudio

La presente investigación se ha llevado a cabo en un área de 30.000 hectáreas, localizadas en las comarcas de l'Alt Penedès y de l'Anoia, en la provincia de Barcelona (Figura 1.1).

Los límites naturales del área de estudio son:

- Oeste y noroeste: Sierra Prelitoral (Macizo del Gayà).
- Norte: divisoria de la riera de Masquefa.
- Este: río Llobregat.
- Sur y sudeste: divisoria de la cuenca del sistema Anoia – Riudevittles y de la cuenca del río Foix, arroyo de l'Avernó y río Anoia (en la zona del escarpe de la falla Martorell – Gelida).

Desde el punto de vista geológico, el área de estudio se localiza en la Depresión del Vallès – Penedès, que es una de las fosas tectónicas más importantes de los Catalánides, originada

por dos fallas paralelas limitadas por la Sierra Litoral y la Sierra Prelitoral, y a la cual se le atribuye una edad oligocena a neógena superior (Arthaud *et al.* 1997 en Cabrera 1981). Esta depresión está rellena por materiales sedimentarios (lutitas, areniscas y conglomerados), en los cuales (en los más incoherentes) se ha formado una densa red de cárcavas y barrancos, de hasta varias decenas de metros de profundidad, que constituyen uno de los rasgos más característicos de la geomorfología de la zona.

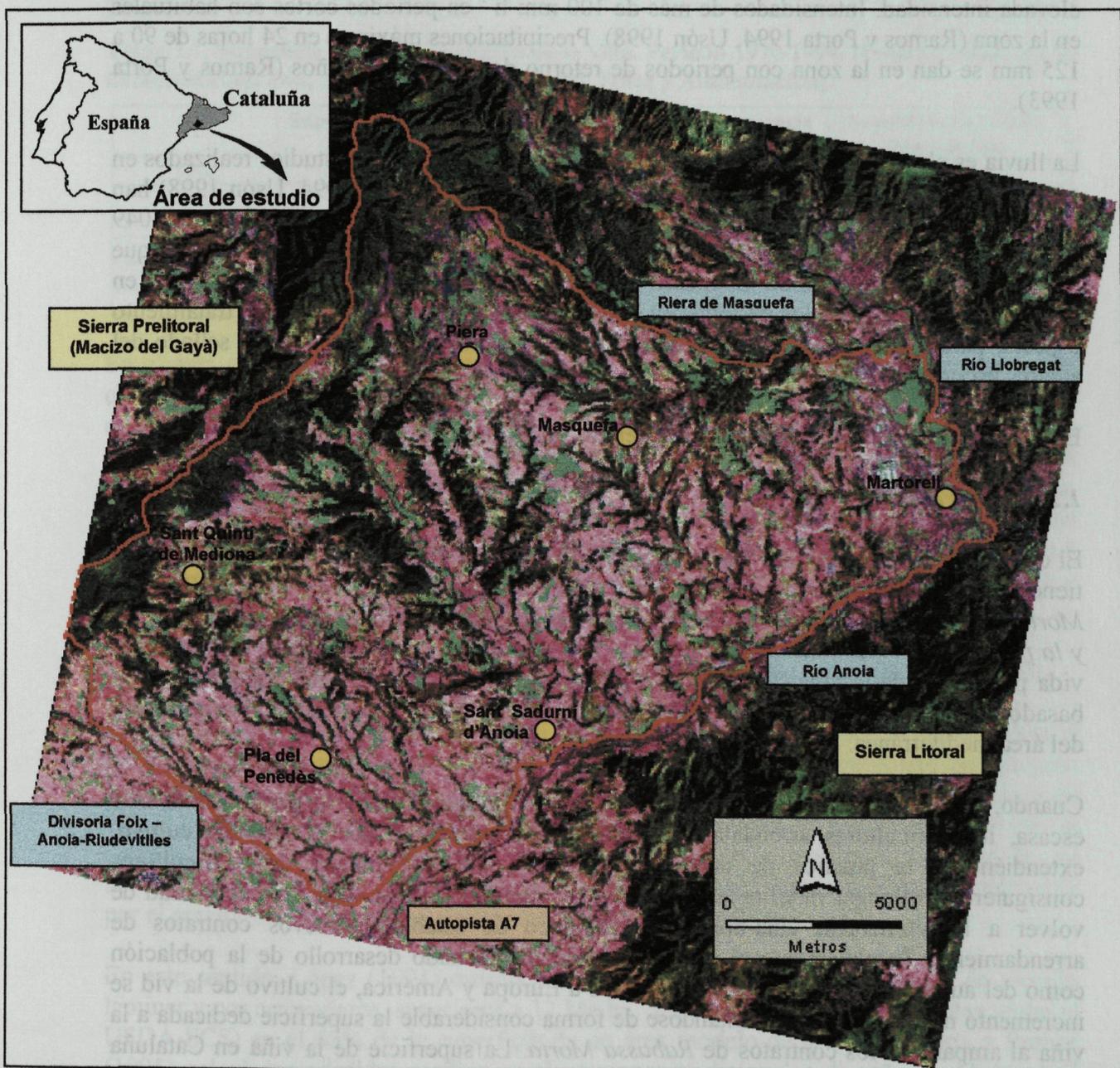


Figura 1.1. Localización del área de estudio. (Imagen Landsat TM de 28 de marzo de 1993, composición en falso color rojo-verde-azul 543).

1.2.2. *Clima*

Desde un punto climático, el área de estudio tiene un clima Mediterráneo, con una temperatura media anual de 21° C y una precipitación media anual entorno a los 660 mm, si bien existe una importante variabilidad interanual de las lluvias (Ramos y Porta 1994).

El máximo de precipitación se registra durante los meses de otoño, con tormentas de elevada intensidad. Intensidades de más de 100 mm h⁻¹ en periodos cortos son habituales en la zona (Ramos y Porta 1994, Usón 1998). Precipitaciones máximas en 24 horas de 90 a 125 mm se dan en la zona con periodos de retorno de entre 5 y 10 años (Ramos y Porta 1993).

La lluvia es el principal agente erosivo en el área de estudio. Varios estudios realizados en esta zona (Ramos *et al.* 1991, Ramos y Porta 1993, Ramos y Porta 1994, Usón 1998) han concluido que el valor anual del factor de erosividad de la lluvia (R), que varía entre 1049 y 1200 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ año⁻¹, no se distribuye homogéneamente a lo largo del año, sino que tiene un máximo absoluto en los meses de septiembre-octubre y otro máximo relativo en abril-mayo. Siendo estos los periodos en que la superficie del suelo necesita un tratamiento especial para evitar el impacto directo de las gotas de lluvia, que produce el sellado del suelo y escorrentía superficial (Usón 1998).

El régimen de humedad de los suelos es xérico y el régimen de temperatura es térmico.

1.2.3. *Usos del territorio*

El cultivo de la viña tiene una tradición muy antigua en el Penedès. Desde el siglo XVI se tiene constancia de contratos de naturaleza temporal para el cultivo de la viña (*Rabassa Morta*), que tenían por objeto la cesión de una tierra a un agricultor para que *la desbrozase y la plantase de viña, cultivándola según el uso y la buena costumbre* hasta el final de la vida productiva de la viña (Balcells 1980). El carácter temporal de estos contratos estaba basado en la ineludible extinción de la viña y en la alternancia viña-bosque, que era típica del área mediterránea.

Cuando, durante el siglo XVIII, aumentó la presión demográfica y la tierra resultó más escasa, los agricultores arrendatarios de las tierras mejoraron las técnicas de cultivo, extendiéndose la práctica de acodos y renuevos. De esta manera los agricultores consiguieron prolongar indefinidamente la vida productiva de las viñas, sin necesidad de volver a la alternancia viña-bosque ni tampoco de establecer nuevos contratos de arrendamiento. Paralelamente, y debido tanto al mencionado desarrollo de la población como del aumento de la exportación de vinos a Europa y América, el cultivo de la vid se incrementó notablemente, aumentándose de forma considerable la superficie dedicada a la viña al amparo de los contratos de *Rabassa Morta*. La superficie de la viña en Cataluña alcanzó su máxima extensión a finales del siglo XIX, con 385.000 ha, con un aumento de 100.000 ha entre 1873 y 1888 por la destrucción de viñas en Francia por la filoxera, que más tarde afectaría a la vid en Cataluña (Balcells 1980).

Desde entonces, la superficie de viña en Cataluña ha ido disminuyendo. Entre los años 1970 y 1994, con 118.379 ha y 66.481 ha respectivamente, la superficie disminuyó en un

44% (Tabla 1.1). En la provincia de Barcelona la reducción de la superficie durante este periodo no fue tan cuantiosa (25% de la superficie en 1970).

La reducción de la superficie de viña ha venido acompañada de una mayor tecnificación del cultivo y cualificación de la producción entorno a las normas de calidad de las denominaciones de origen. En concreto, en la Denominación de Origen Penedès, la superficie de viña acogida aumentó un 56% entre 1970 y 1994, acogiendo en la actualidad 26.495 ha.

Tabla 1.1. Superficie dedicada al cultivo de la viña. Periodo 1970-1994. (Fuente: Anuarios de Estadística Agraria, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación).

Año	Superficie en Cataluña (ha)	Superficie en la provincia de Barcelona (ha)	Superficie en la D.O. Penedès (ha)
1970	118.379	34.870	17.000
1975	110.812	30.650	22.796
1980	102.206	27.890	24.618
1985	93.704	27.965	24.618
1990	85.143	26.331	25.749
1994	66.481	26.198	26.495

En el área en que se centra la investigación, y según mediciones realizadas en base a la clasificación de una imagen del satélite Landsat de marzo de 1993 (capítulo 5 – sección 5.2 de la presente tesis), la superficie cultivada de viña era en esta fecha de 9.320 ha, siendo el cultivo por excelencia en la zona. El siguiente cultivo mayoritario eran los cereales de invierno (1.350 ha), que constituyen la actual alternancia a la viña. Las zonas forestales, bosques mixtos de *Pinus halepensis* y *Quercus ilex*, y matorrales boscosos, suponían 14.900 ha, siendo la mayor ocupación del área, donde se incluyen las zonas de montaña y las paredes de barranco vegetadas. El resto del área está ocupada por áreas urbanas e industriales, vías de comunicación y otros usos agrícolas de menor importancia.

1.2.4. Erosión y necesidad de información territorial para una agricultura sostenible

La tecnificación de la producción vitícola mencionada, no ha conllevado una preocupación por la conservación del recurso suelo, consecuente con una sostenibilidad de los usos actuales. La tecnificación ha significado el rediseño de la mayoría de las plantaciones de viña y la desaparición de muchas de las medidas tradicionales de conservación de suelos (Figura 1.2). Esto ha reactivado los procesos erosivos, incrementándose las pérdidas de suelos tanto por erosión laminar y por arroyaderos, como de suelos y superficie cultivable por el crecimiento de cárcavas y retroceso de las paredes de barrancos.

En este sentido, López (1994) estimó pérdidas de suelo, debidas a procesos de erosión laminar y por arroyaderos, superiores a 12 Mg ha⁻¹ año⁻¹ (mayores a las tolerables según el USDA-SCS) en el 63% de la superficie de un área modelo de 490 ha, y Porta y Ramos (1995) calcularon pérdidas medias en plantaciones tradicionales de viña de 11 Mg ha⁻¹ año⁻¹, con pérdidas de hasta 100 Mg ha⁻¹ año⁻¹ en plantaciones modernas.

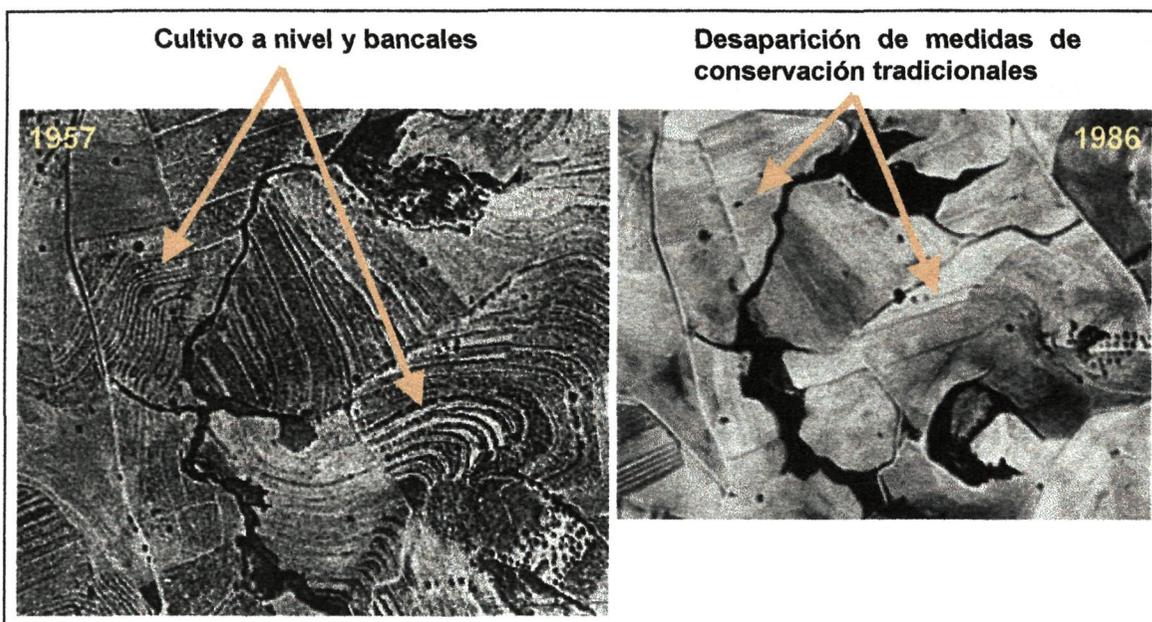


Figura 1.2. Ejemplo de los cambios producidos en las últimas décadas en los sistemas de cultivo de la viña. Izquierda: fotografía aérea de 1957 (escala original aproximada 1:30.000, en la zona de Sant Llorenç d’Hortons) que muestra la práctica de cultivos a nivel y bancales en las plantaciones de viña. Derecha: fotografía aérea de 1986 (escala original aproximada 1:30.000, en la misma zona), muestra la desaparición de los cultivos a nivel y bancales, y el crecimiento de la cárcava ocurrido en este periodo.

La medida de conservación de suelos más utilizada, es un tipo de terraza paralela a las hileras de la plantación que se denomina localmente *rasa*. El diseño de estas terrazas es empírico y, aunque en muchos casos cumplen su función de evacuar el agua de escorrentía, pueden influir en el crecimiento de cárcavas en las parcelas de viña (Porta *et al.* 1994, Ramos y Porta 1997, Meyer y Martínez-Casasnovas 1998) (Figura 1.3).

En otros casos de construcción de terrazas y desagües, como el diseño por parte de los agricultores se hace sin los suficientes criterios técnicos, la distancia entre terrazas es excesiva y se produce la concentración de flujo de forma incontrolada antes de llegar a estos canales. En muchos de estos casos, los agricultores utilizan los restos de poda para frenar el crecimiento de las cárcavas en estas vías preferenciales de flujo, aunque no resulta una medida muy efectiva.

Los daños producidos por la incisión de cárcavas y barrancos son los más patentes a los ojos de los agricultores. Una de las consecuencias más graves es la disección de las parcelas, que conlleva la dificultad para el tránsito de la maquinaria y la pérdida de superficie agrícola útil (Figura 1.4). Aproximadamente el 20% de la superficie, en un área de la zona de Masquefa, ha sido afectada por la erosión por cárcavas y barrancos (Boixadera 1983, Porta *et al.* 1994), llegando a causar grandes incisiones en el paisaje. Sin embargo, no se dispone de información de cual es la tasa de crecimiento de cárcavas y/o barrancos ni cual es el patrón de crecimiento, información que sería de utilidad en la planificación de medidas de control.



Figura 1.3. Izquierda: concentración de flujo en un canal de desagüe en el borde de una parcela de viña durante una tormenta. Derecha: cárcava desarrollada en el borde de la parcela, donde se concentra el flujo del agua. Esta cárcava va siendo periódicamente rellenada con tierra por el agricultor, ya que afecta a uno de los caminos de paso de la maquinaria en la parcela.

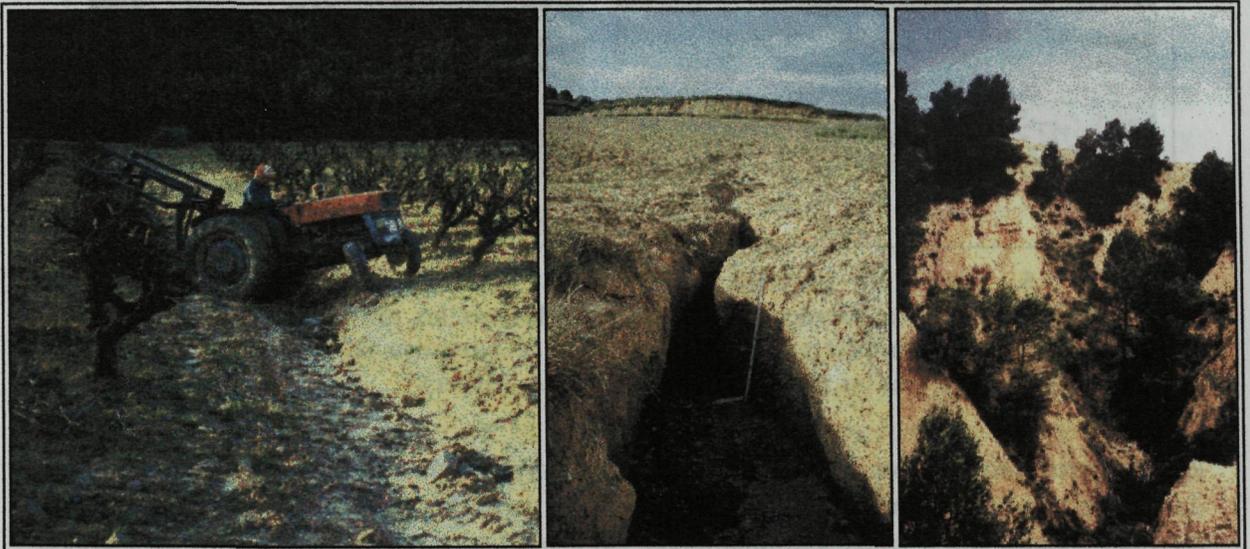


Figura 1.4. Secuencia de la disección de parcelas y del territorio causada por la erosión por cárcavas y barrancos. Izquierda: dificultad para el tránsito de la maquinaria por la incisión de una cárcava en una parcela de viña (foto: A. Meyer). Centro: cárcava desarrollada en una parcela transformada antes de la plantación de la viña. Derecha: barranco, que supone una gran disección en el paisaje y la pérdida de superficie de cultivo a largo plazo.

El rediseño de las plantaciones de viña ha conllevado, en muchos casos, la transformación de las parcelas, realizando grandes movimientos de tierra y rellenando barrancos para conseguir nuevas parcelas de mayores dimensiones y menores pendientes (Figura 1.5). Estas medidas no suelen ser suficientes para evitar la erosión por cárcavas y barrancos

(Meyer y Martínez-Casasnovas 1998), ya que los materiales incoherentes del relleno o bien ceden tras las primeras lluvias o bien se asientan produciendo un canal preferente de concentración del flujo superficial.

Los movimientos de tierra que conllevan las nuevas parcelas se están haciendo, generalmente, sin tener en cuenta ningún tipo de información básica de suelos, y sin considerar como pueden ser las características de los suelos resultantes después de las nivelaciones, al dejar en superficie materiales antes más profundos (Boixadera y Porta 1995, Poch *et al.* 1996).



Figura 1.5. Diseño de parcelas para nuevas plantaciones de viña. Izquierda: movimientos de tierra. Derecha superior: parcela tras los movimientos de tierra y nivelación. Derecha inferior: colapso de la zona de barranco rellenada en una nueva plantación de viña tras las primeras lluvias (foto: A. Meyer).

La necesaria información de suelos, para ser útil en planificación a nivel de parcela habrá de estar a una escala muy detallada, mientras que para ser usada en planificación a nivel regional bastará con escalas semidetalladas. En cualquier caso, la información de suelos a escala semidetallada servirá para conocer los principales tipos de suelos existentes en toda el área de estudio, sus propiedades y comportamiento frente a la actuación tanto de los procesos erosivos como a las actuaciones antrópicas conducentes al diseño de nuevas parcelas para plantaciones de viña.

Por lo que respecta a los problemas de erosión por cárcavas y barrancos, generalizados en toda el área de estudio, se ha constatado la necesidad de establecer medidas de control efectivas que, por una parte, respondan a un plan de actuación a nivel de todo el área de estudio, reconociendo las áreas prioritarias, y de cuya necesidad e implementación sean aceptables para los agricultores. El establecimiento de estos planes de actuación debe

basarse en información, de la cual generalmente no se dispone en la actualidad, sobre las áreas erosionadas, su grado de actividad erosiva actual, y la identificación de los factores que determinan el crecimiento de nuevas cárcavas y el desarrollo de las cárcavas y barrancos ya existentes. El conocimiento de estos factores, aparte de predecir la erosión futura, también llevará a determinar las posibilidades de control de la erosión por cárcavas y barrancos.

1.3. Tecnologías de la información espacial como metodología en el análisis del territorio

Las tecnologías de la información espacial, como las bases de datos, la teledetección y los sistemas de información geográfica (SIG), necesitan de estructuras de datos y de metodologías para la obtención de información aplicable al análisis y planificación del territorio.

Tradicionalmente, la información de suelos se ha venido plasmando en mapas de suelos, mientras que en la actualidad se hace en los denominados sistemas de información de suelos (SIS) (Boixadera y Porta 1991, Burrough 1991 y 1993, Fernández y Rusinkiewicz 1993). Estos sistemas necesitan de estructuras de datos que organicen lógicamente la información que se adquiere durante la prospección de suelos. La base de datos así podrá ser después utilizada para el análisis de las propiedades de los suelos y en otras aplicaciones, como por ejemplo en evaluación de suelos.

Normalmente, las bases de datos de suelos existentes suelen reflejar la estructura del mapa de suelos a partir de los cuales han sido creadas (Frigolé 1997). Una de las estructuras de mapa de suelos más utilizadas en el diseño de bases de datos ha sido la basada en las relaciones suelo-paisaje (Valenzuela 1988, Zinck y Valenzuela 1990, Fernández y Rusinkiewicz 1993). Esta estructura permite el diseño de bases de datos espaciales de suelos a diferentes niveles de detalle, utilizando como vínculo de unión de los diferentes niveles la jerarquía de las formas de relieve o geoformas.

Por lo que respecta al campo de la erosión hídrica, las técnicas de SIG y teledetección han sido ampliamente utilizadas tanto en la cartografía de los fenómenos erosivos como en la modelización de la erosión (predicción y estimación de pérdidas de suelo). No obstante, la mayor parte de los trabajos de investigación y estudios a este respecto han estado dirigidos a la aplicación de modelos existentes como la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo (USLE) (Wischmeier y Smith 1978) u otras ecuaciones derivadas de ella, como RUSLE o SLEMSA (Logan *et al.* 1982, Pelletier 1985, Griffiths y Richards 1989, Blaszczynski y Fulton 1992, Anys *et al.* 1994).

Estos modelos solamente predicen las pérdidas de suelo por erosión laminar y por arroyaderos. Además, su aplicación mediante SIG ha sido generalmente inapropiada (Moore y Wilson 1992, Mitsova *et al.* 1996). El factor más problemático de estimar y también de aplicar a vertientes complejas es el factor LS (Moore y Wilson 1992), aunque esto ha sido solucionado por estos autores mediante un método para estimar el factor LS a partir de modelos digitales de elevaciones y operaciones SIG.

También, los SIG han sido utilizados como herramienta en la modelización del flujo superficial y de las pérdidas de suelo en áreas de drenaje, aplicando modelos más complejos de base física como ANWERS (De Roo 1993) y AGPNS (Young y Onstad 1987, Olivieri *et al.* 1996). Otros autores han modelado los efectos hidrológicos en cuencas de drenaje producidos por cambios de usos del suelo, usando técnicas de SIG y teledetección para la estimación de los parámetros en los que se basan los modelos (Newmann y Schultz 1989, Schultz 1994).

Por otra parte, son numerosos los ejemplos de aplicaciones de los SIG y la teledetección en la adquisición y procesamiento de datos en modelos de erosión basados en la combinación de factores de los cuales se supone, por conocimiento deductivo, una relación con la existencia o potencial para la erosión (Millington 1986, Garg y Harrison 1992).

Sin embargo, pocos estudios han sido dedicados al uso de estas tecnologías de la información espacial en la investigación sobre los procesos y factores relacionados con la erosión por cárcavas y barrancos. Estos trabajos han estado dirigidos no tanto al conocimiento de los procesos como a la determinación de los factores del territorio relacionados con la existencia de erosión.

Uno de los ejemplos más significativos es el trabajo de Bocco (1990), quien dedujo una serie de reglas, basadas en el análisis espacial mediante SIG de factores relacionados con la existencia de erosión por barrancos, para la predicción de este tipo de erosión. Más recientemente, otros autores también han venido trabajando en esta dirección (Vazquez y Zinck 1994).

Actualmente, la investigación en el ámbito de la erosión por cárcavas y barrancos está ligada al uso de los SIG y la teledetección como herramientas para la adquisición, el análisis y la modelización de la información espacial relativa al territorio.

Por una parte, el desarrollo de operaciones topológicas en estructuras de datos en mallas regulares (*raster*) ha hecho posible la extracción automatizada de atributos topográficos primarios a partir de modelos digitales de elevaciones (Moore *et al.* 1991, Moore *et al.* 1993): orientación, grado de la pendiente, cuenca de drenaje, área de drenaje específica (área de drenaje que drena a través de una unidad de longitud de curva de nivel), longitud del camino que recorre el flujo del agua, curvatura en planta, curvatura en perfil, flujo acumulado, red de drenaje, etc. Estos atributos han sido utilizados, normalmente a través de índices compuestos, para describir la distribución espacial de zonas con acumulación de flujo, contenido de humedad del suelo, erosión laminar, etc., habiéndose utilizado algunos de ellos en la predicción de áreas con potencial topográfico para la erosión por cárcavas (Moore *et al.* 1988).

La otra tendencia actual en la investigación sobre cárcavas y barrancos es la del estudio evolutivo en base a imágenes de satélite, fotografías aéreas o imágenes vídeo multitemporales (Strömquist *et al.* 1985 en Brooks *et al.* 1991, Palacio y López 1994, Martínez-Casasnovas *et al.* 1997). Estos estudios son la base de un nuevo enfoque en la modelización de cárcavas y barrancos, enfoque evolutivo, que ha sido recientemente formulado por Zinck (1997), y que ha de estar encaminado a determinar el patrón de crecimiento y expansión de estos fenómenos erosivos.

El enfoque multitemporal de análisis de fotografías aéreas por medios fotogramétricos también ha sido utilizado para cuantificar tasas de erosión por cárcavas (Thomas *et al.* 1986, Dymond y Hicks 1986), siendo estos estudios los precursores de una metodología que actualmente ha de experimentarse usando modelos digitales de elevaciones y sistemas de información geográfica. Esta metodología, además de ofrecer información sobre la tasa de erosión, servirá para localizar espacialmente las áreas de mayor profundización de las cárcavas y barrancos, y también las áreas donde se producen movimientos en masa.

1.4. Objetivos generales de la investigación

Los objetivos generales que se plantean en la presente investigación son:

- 1) Desarrollo de un sistema de información de suelos a escala semidetallada del área de estudio, basado en el análisis y estructura de las relaciones suelo-paisaje. Este sistema de información ha de servir para caracterizar la distribución espacial y propiedades de los suelos a nivel regional, y para el análisis de las propiedades de los suelos en relación a los procesos de erosión hídrica, en particular erosión laminar y por arroyaderos.
- 2) Análisis de los procesos de erosión por cárcavas y barrancos a escala detallada y semidetallada, conducentes al conocimiento de las áreas afectadas, grado de actividad erosiva actual (incluyendo tasas de erosión), factores del territorio relacionados con la existencia de erosión, predicción de la existencia de cárcavas a nivel de parcela y del retroceso de las paredes de las cárcavas y barrancos existentes.
- 3) Desarrollo de metodologías, basadas en el uso de tecnologías de la información espacial (bases de datos, sistemas de información geográfica y teledetección), para la adquisición, almacenamiento y análisis de datos relativo a los objetivos planteados relacionados con el desarrollo de sistemas de información de suelos y de análisis y modelización de fenómenos de erosión por cárcavas y barrancos.

1.5. Estructura de la memoria

La presente investigación se estructura en capítulos que hacen referencia a los distintos objetivos planteados (Figura 1.6).

En el capítulo 2 se presenta una síntesis de la geología del Alt Penedès – Anoia y el análisis de las geoformas. Este análisis es la base sobre la que se desarrolla y se estructura el sistema de información de suelos (capítulo 3), diseñado según un modelo de datos georrelacional, a partir del cual se analizan las propiedades de los suelos en relación a la erosión hídrica.

El capítulo 4 recoge la investigación sobre la erosión por cárcavas y barrancos, relativa a la caracterización de los procesos que ocurren en el área de estudio, el grado de erosividad actual y tasas de erosión, el análisis del patrón de crecimiento y desarrollo de cárcavas y barrancos, y la predicción de la erosión futura. Esta investigación está basada en la

utilización de metodologías de SIG y teledetección que se incluyen parte en este capítulo 4 y parte en secciones del capítulo 5.

El capítulo 5 recoge, en diferentes secciones, distintas metodologías basadas en tecnologías de la información (bases de datos, sistemas de información geográfica y teledetección), que han servido para el desarrollo de los dos primeros objetivos generales de la presente investigación.

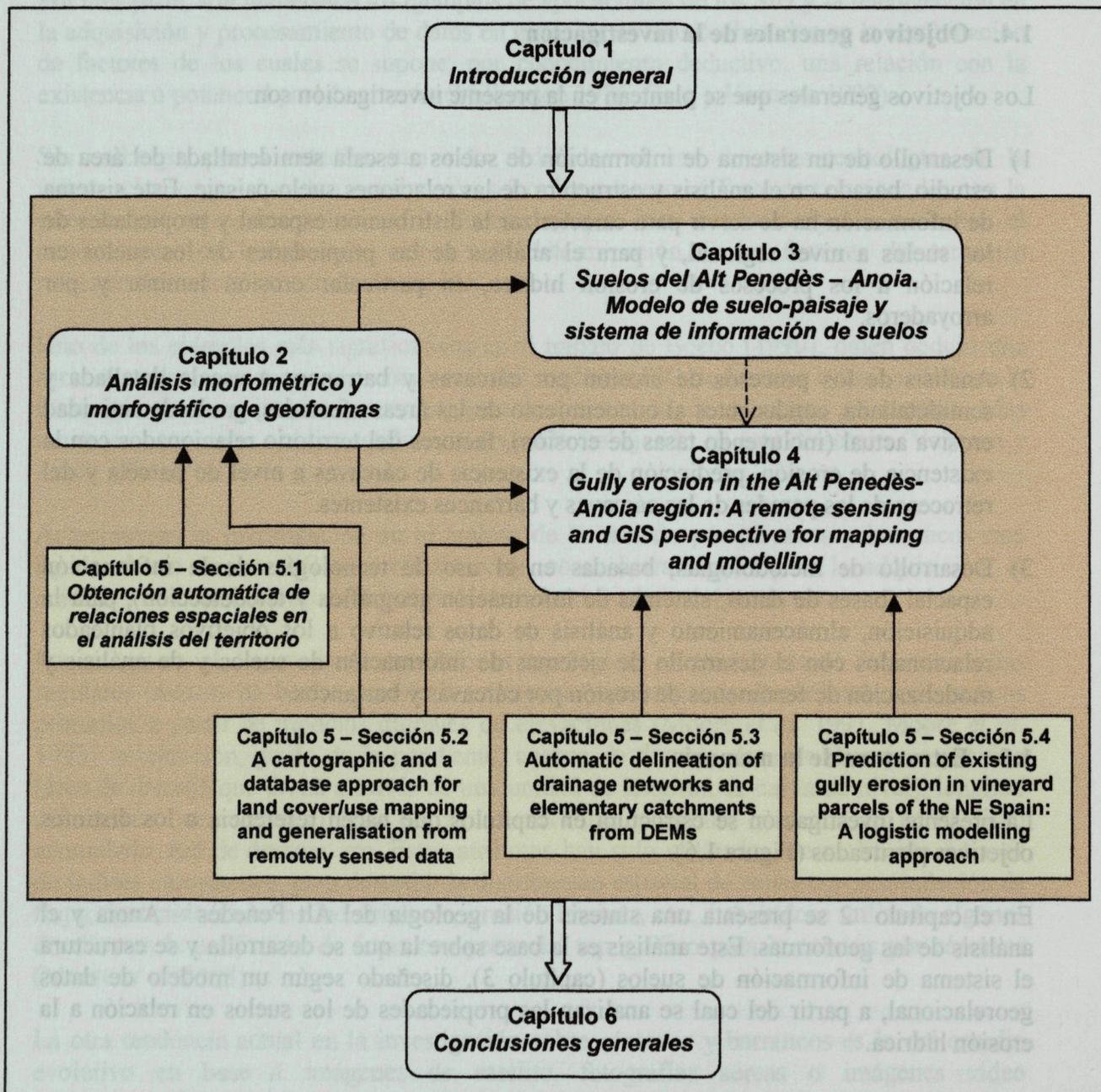


Figura 1.6. Estructura de la presente tesis.

Las secciones de este capítulo constituyen diferentes publicaciones:

- Obtención automática de relaciones espaciales en el análisis del territorio: Relaciones de adyacencia (vecindad) entre geoformas en el Alt Penedès – Anoia (Cataluña). *J.A. Martínez-Casasnovas, 1er Congreso Nacional de Información Geográfica, Valladolid, Octubre 1998.*
- A cartographic and database approach for land cover/use mapping and generalisation from remotely sensed data. *J.A. Martínez-Casasnovas. International Journal of Remote Sensing, (enviado en febrero 1998, revisado en agosto 1998).*
- Automatic delineation of drainage networks and elementary catchments from DEMs. *J.A. Martínez-Casasnovas and J.H. Stuiver, ITC Journal, (en prensa).*
- Prediction of existing gully erosion in vineyard parcels of the NE Spain: A logistic modelling approach. *A. Meyer and J.A. Martínez-Casasnovas. Soil Research and Tillage (enviado en agosto 1998).*

Cada uno de estos capítulos presenta la estructura clásica de los trabajos de investigación: introducción, materiales y métodos o metodología, resultados y discusión, y conclusiones.

Finalmente, el capítulo 6 presenta las conclusiones generales de la presente investigación.

1.6. Referencias bibliográficas

- Anys, H., Bonn, F. y Merzouk, A., 1994.** Remote Sensing based mapping and modelling of water erosion and sediment yield in a semi-arid watershed of Morocco. *Geocarto International*, 1: 31-40.
- Balcells, A., 1980,** *El problema agrario en Cataluna. La cuestión rabassaire (1890-1936)*. Serie de Estudios. Ministerio de Agricultura.
- Blaszczynski, J. y Fulton, J.L., 1992,** Regional soil loss prediction using the RUSLE/GIS interface. In: *Geographic Information Systems and mapping practices and standars*, Johnson, A. and C.B. Pettersson (editors), ASTM, Philadelphia, pp. 122-131
- Bocco, G., 1990,** *Gully erosion analysis using remote sensing and Geographical Information Systems. A case study in central Mexico*. PhD thesis. University of Amsterdam- ITC, Amsterdam- Enschede.
- Boixadera, J., 1983,** *Proyecto de un área modelo de conservación de suelos en Piera-Masquefa*. PFC, ETSEA, UPC, Lleida.
- Boixadera, J. y Porta, J., 1991,** *Información de suelos y evaluación catastral. Método del valor ndice*. Centro de gestión Catastral y Cooperación Tributaria, Ministerio de Economía y Hacienda, Madrid.
- Boixadera, J. y Porta, J., 1995,** Información de sls i sostenibilitat de la vinya al Penedès: Plans de conservación de sls i aigües. En: *Jornades de Transferència de Tecnologia sobre Conservación de Sls i Aigües en Vinyes*, J.A. Martínez-Casasnovas (editor), DMACS-UdL i INCAVI-DARP, Vilafranca del Penedès-Lleida, pp. 70-79.
- Burrough, P.A., 1991,** Soil information systems. In: *Geographical Information Systems, Volume 2: Application*, D.J. Maguire, M.F. Goodchild y D.W. Rhind (editors). Longman Scientific & Technical, New York, reprint 1994, pp. 153-169.
- Burrough, P.A., 1993,** The technology paradox in soil survey: methods and techniques of data capture and handling. *ITC Journal* 1993-1: 15-22.
- Brooks, N.K., Folliot, P.F., Gregersen, H.M. y Thomas, J.L., 1991,** *Hydrology and the management of watersheds*. Iowa State University Press.
- Cabrera, L., 1981,** Influencia de la tectnica en la sedimentacin continental de la cuenca del Valls – Penedès (provincia de Barcelona, España), durante el Mioceno inferior. *Acta Geolgica Hispánica*, 16(3): 165-171.
- De Roo, A.P.J., 1993,** Modelling surface runoff and soil erosion in catchments using Geographical Information Systems. *Nederlandse Geografische Studies* 157. Universiteit Utrecht.
- Dymond, R.J. y Hicks, D.L., 1986,** Steepland erosion measured from historical aerial photographs. *Journal of Soil and Water Conservation*, 41: 252-255.
- Fernández, R.N. y Rusinkiewicz, M., 1993,** A conceptual design of a soil database for a geographical information system. *International Journal of Geographic Information Science*, 7: 525-539.

- Gallart, F.**, 1981, Neógeno superior y Cuaternario del Penedès (Catalunya, España). *Acta Geológica Hispánica*, 16: 151-157.
- Garg, P.K. y Harrison, A.R.**, 1992, Land degradation and erosion risk analysis in S.E. Spain: A GIS approach. *Catena*, 19: 411-425.
- Griffiths, J.S. y Richards, K.S.**, 1989, Application of a low-cost database to soil erosion and soil conservation studies in the Awash Basin, Ethiopia. *Land Degradation and Rehabilitation*, 1: 241-262.
- Logan, T.J., Urban, D.R., Adams, J.R. y Yaksich, S.M.**, 1982, Erosion control potential with conservation tillage in the Lake Erie Basin: Estimates using the Universal Soil Loss Equation and the Land Resource Information System (LRIS). *Journal of Soil and Water Conservation*, 37: 50-55.
- López, C.**, 1994, *Establecimiento de un plan de conservación de suelos en un área modelo de 490 ha en el Alt Penedès*. PFC. ETSEA-UdL. Lleida.
- Martínez-Casasnovas, J.A., Poch R.M., Fargas D., Serrat N., Penella E. y Andreu N.**, 1997, Estado de conservación de los suelos de la cuenca del embalse Joaquín Costa. *Actas del Encuentro Científico-Técnico sobre el vaciado total y prolongado del embalse de Joaquín Costa*, Confederación Hidrográfica del Ebro, Zaragoza, 22-24 de octubre 1997, pp. 1-12.
- Meyer, A. y Martínez-Casasnovas, J.A.**, 1998, Prediction of existing gully erosion in vineyard parcels of the NE Spain: A logistic modelling approach. *Soil Research and Tillage* (submitted).
- Millington, A.C.**, 1986, Reconnaissance scale soil erosion mapping using a simple GIS in the humid tropics. In: *Land evaluation for land-use planning and conservation in sloping areas*, W. Siderious (editor), ILRI publication num. 40. Wageningen, pp. 64-81.
- Mitasova, H., Jaroslán, M.Z. y Iverson, L.R.**, 1996, Modelling topographic potential for erosion and deposition using GIS. *International Journal of Geographic Information Sciences*, 10: 629-641.
- Moore, I.D., Burch, G.J. y Mackenzie, D.H.**, 1988, Topographic effects on the distribution of surface soil water and the location of ephemeral gullies. *Transactions of the ASAE*, 31: 1098-1107.
- Moore, I.D., R.B. Grayson y A.R. Landson.** 1991. Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological and biological applications. *Hydrological Processes*. 5: 3-30.
- Moore, I.D. y Wilson, J.P.**, 1992, Length-Slope factors for the Revised Universal Soil Loss Equation: Simplified method of estimation. *Journal of Soil and Water Conservation*, 47, pp 423-428.
- Moore, I.D., Turner, A.K., Wilson, J.P., Jenson, S.K. y Band, L.E.**, 1993, GIS and land surface-subsurface process modelling. In: *Environmental modelling with GIS*. M.F. Goodchild, B.O. Parks and L.T. Steyaert (editors), Oxford University Press, New York, pp. 196-230.
- Neumann, P. y Schultz, G.A.**, 1989, Hydrological effects of catchment characteristics and land use changes determined by satellite imagery and GIS. *IAHS Publication*, 186, pp 186-176.
- Olivieri, L.J., Motsch, B., Schaal, G.M. y Elliot, W.J.**, 1996, *Linking remote sensing and GIS to soil conservation: Generating AGNPS input using remote sensing and GIS*. Internet document. www.dnr.ohio.gov/odnr/reim/remsen/agnps/

- Palacio, J.L. y López, J.,** 1994, Videography: an alternative remote sensing tool for monitoring gully erosion. *ITC Journal* 1994-3: 233-237.
- Pelletier, R.E.,** 1985, Evaluating non point pollution using remotely sensed data in soil erosion models. *Journal of Soil and Water Conservation*, 40: 332-335.
- Poch, R.M., Martínez-Casasnovas, J.A., Usón, A. y Ramos, M.C.,** 1996, Conservació de sòls en vinyes de l'Anoia-Penedès: Un enfoc cap a la sostenibilitat. *Jornades Agràries de la Fira de Sant Josep*. Col. Ofic. Eng. Tèc. Agr. de Catalunya i Patronat Fires de Mollerusa. Mollerusa. 13 pp.
- Porta, J., Ramos, M.C. y Boixadera, J.,** 1994, Mechanical measures for runoff management and erosion control in the vineyards of North East Spain. In: *Conserving soil resources: European perspective*, R.J. Rickson (editor), CAB International, Wallingford, pp. 369-378.
- Porta, J. y Ramos, M.C.,** 1995, Pèrdues de Sòl i de nutrients per erosió en camps de vinya: quantificació. En: *Jornades de Transferència de Tecnologia sobre Conservació de Sòls i Aigües en Vinyes*, J.A. Martínez-Casasnovas (editor), DMACS-UdL i INCAVI-DARP, Vilafranca del Penedès-Lleida, pp 56-62.
- Ramos, M.C., Porta, J. y Boixadera, J.,** 1991, Rainfall characteristics and soil losses in vineyards in the NE Spain. *ESSC Seminar on Combating soil erosion in vineyards*. Trier, Alemanya.
- Ramos, M.C. y Porta, J.,** 1993, Modelos de distribución espacio-temporal de las lluvias en la zona mediterránea del Anoia-Penedès. Influencia en la sostenibilidad de los cultivos de la zona. *Ecología*, 7: 45-56.
- Ramos, M.C. y Porta, J.,** 1994, Rainfall intensity and erosive potential in NE Spain Mediterranean area. First results on sustainability of vineyards. *Il Nuovo Cimento*, 17: 291-299.
- Ramos, M.C. y Porta, J.,** 1997, Analysis of design criteria for vineyard terraces in the mediterranean area of North East Spain. *Soil Technology*, 10: 155-166.
- Schultz, G.A,** 1994, Meso-scale modelling of runoff and water balances using remote sensing and other GIS data. *Hydrological Sciences Journal*, 39: 121-142.
- Thomas, A.W., Welch, R. y Jordan, T.R.,** 1986, Quantifying concentrated-flow erosion on cropland with aerial photogrammetry. *Journal of Soil and Water Conservation*, 41: 249-252.
- Usón, A.,** 1998, *Medidas de control de la erosión en suelos de viña de las comarcas Anoia – Alt Penedès (Barcelona): Efectividad y viabilidad*. Tesis doctoral. Universitat de Lleida, Lleida.
- Vazquez, L. y Zinck, J.A.,** 1994, Modelling gully distribution on volcanic terrains in the Huasara, central Mexico. *ITC Journal* 1994-3: 238-251.
- Wischmeier, W.H. y Smith, D.D.,** 1978, *Predicting rainfall erosion losses - A guide to conservation planning*. USDA Agriculture Handbook num. 537. US Government Printing Office. Washington, DC.
- Young, R.A. y Onstad, C.A.,** 1987, *AGNPS, Agricultural Non-Point-Source Pollution Model. A watershed analysis tool*. USDA. Report 35. USDA, Washington, D.C., US.

Zinck, J.A., 1997, Riesgos ambientales y suelos. Enfoques para la modelización de la erosión por cárcavas y movimientos en masa. *Edafología*, special edition of the 50th anniversary of the Spanish Soil Science Society, pp 283-297.

