



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

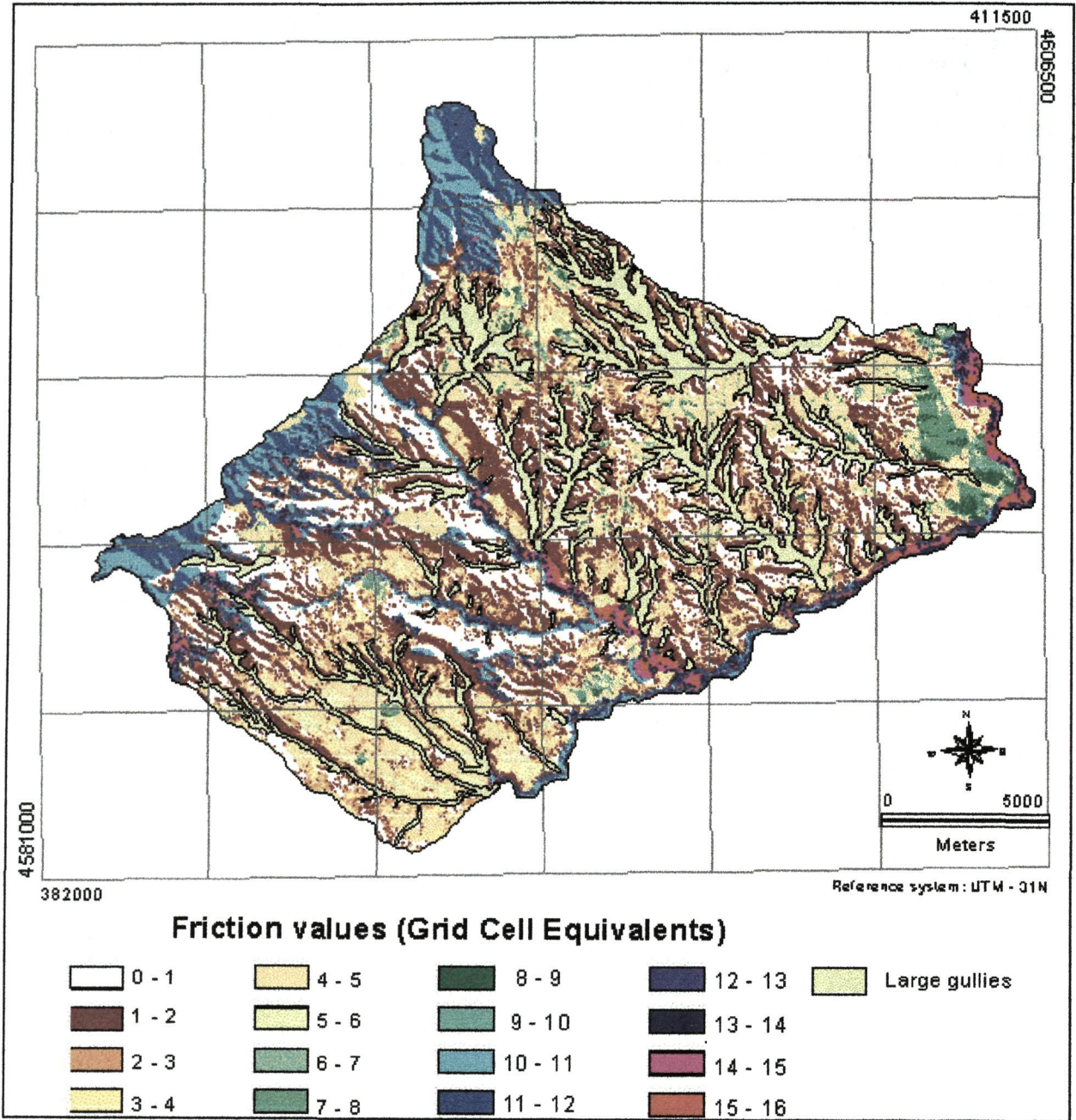


Figure 4.35. Friction surface that integrates the observed prone conditions and barriers for the retreat of gullies in the Alt Penedès – Anoia. The values indicate the facility/difficulty the terrain offers to the retreat of gully walls.

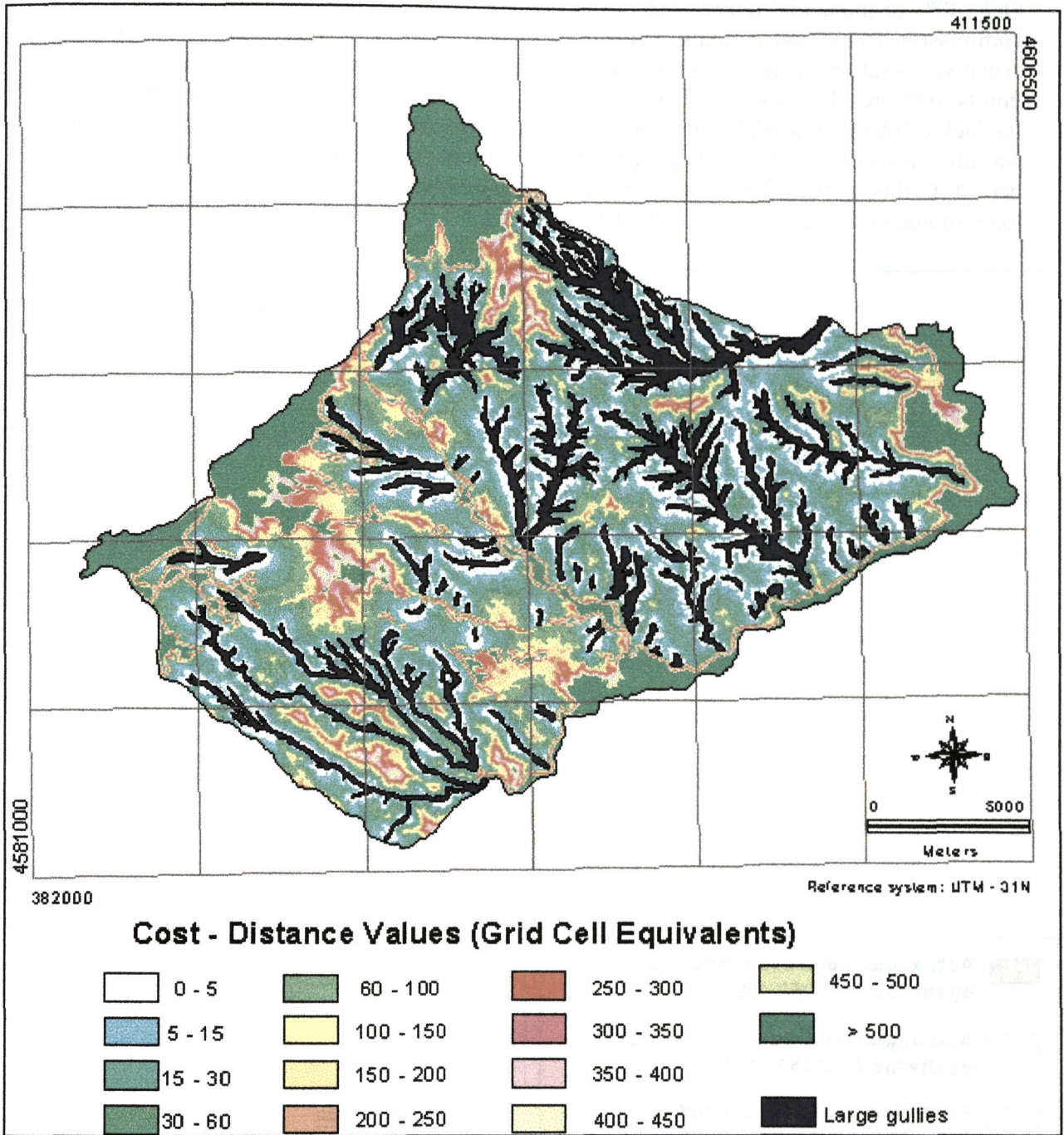


Figure 4.36. Cost-distance surface. The values represent the cost of movement of gully walls from gully bordering areas towards ungullied headwater areas according to the considered friction surface.

Wetter bordering parcel areas, north or east faced present lower cost values. It means more facility for gully walls to retreat towards those directions. Other factors slow down the advance of gullies. These are mainly hard rocks and, up to some extent, urban and industrial areas.

The application of the evolutive growth model on to the reference data from the Rierusa basin yielded the following results (Figure 4.37).

Only 40% of the actual retreat areas were predicted by the model. Moreover, the error of commission (non eroded areas that are predicted as such) was very high (70%). The sensitive variation of the factorial weights of the model did not improve the results. This points to the resolution of the digital elevation model (25 m) as one of the main reason of the lack of fit of the model to the reference data. This is, the 25 m resolution DEM hardly was able to predict average retreats of 7.2 m, that were produced in the considered 36 year period. In this respect, 2-5 m resolution DEMs would be more appropriated to derive the topographic variables involved in the friction surface.

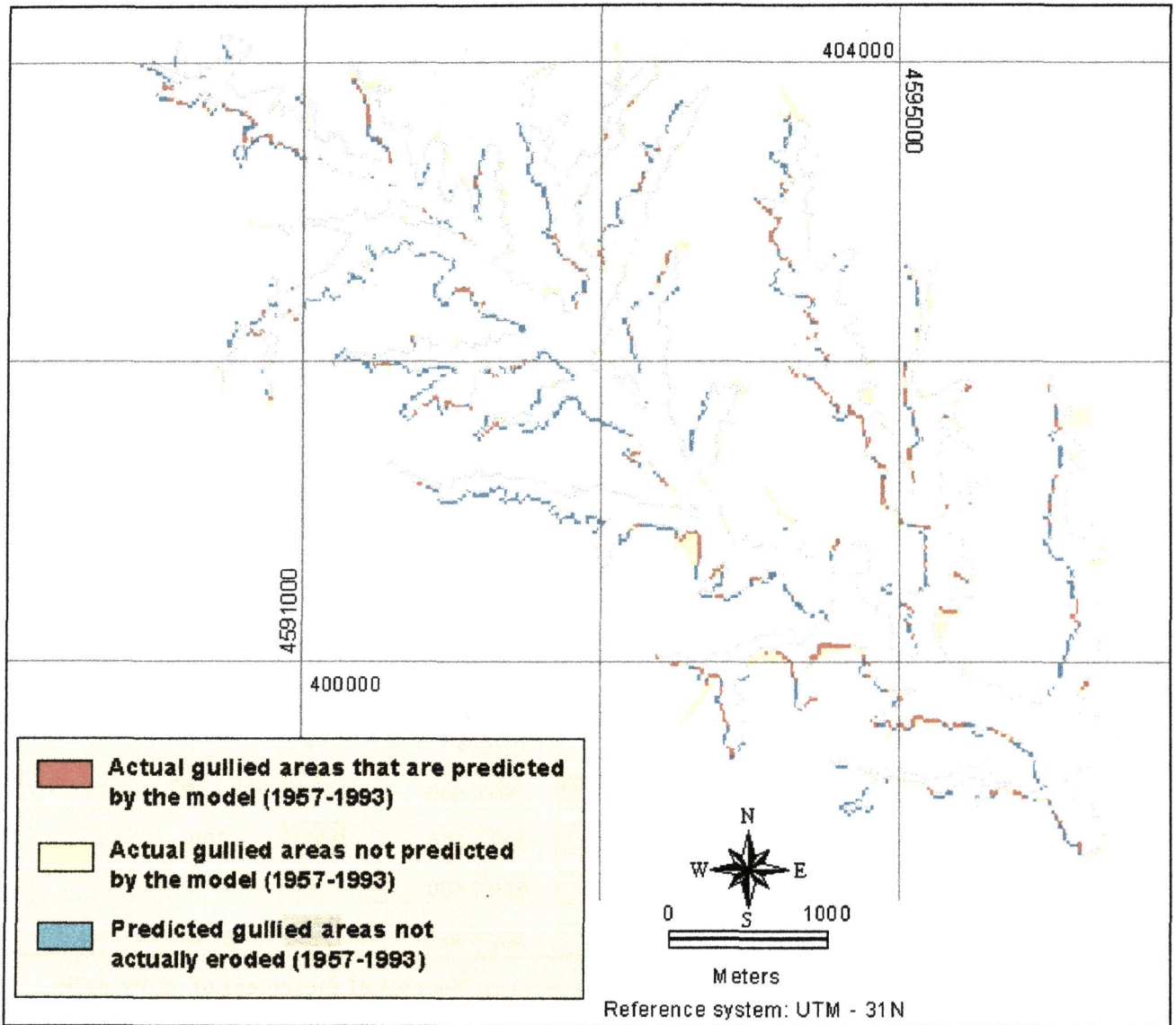


Figure 4.37. Cross-tabulation image of the measured retreat areas and the predicted gullied areas in the period 1957-1993 in the gullies of the Rierusa basin.

Although the defined evolutive gully retreat model did not produce satisfactory results because of the resolution of the data used for modelling, approaches based on cost-distance functions through friction surfaces point out as promising tools for evolutive gully retreat modelling. Friction surfaces must integrate the main terrain and land use factors associated

with the gully retreat in an area (prone conditions and barriers). The resolution of data for modelling must match the dimension of the studied phenomena.

Evolutionary models can be very useful in the location of most probable areas to be affected by the retreat of gullies in the near future. As an example, Figure 4.38 represents the predicted areas that will be eroded after a number of years equivalent to the studied period (36 years) from 1993 in the Alt Penedès – Anoia region.

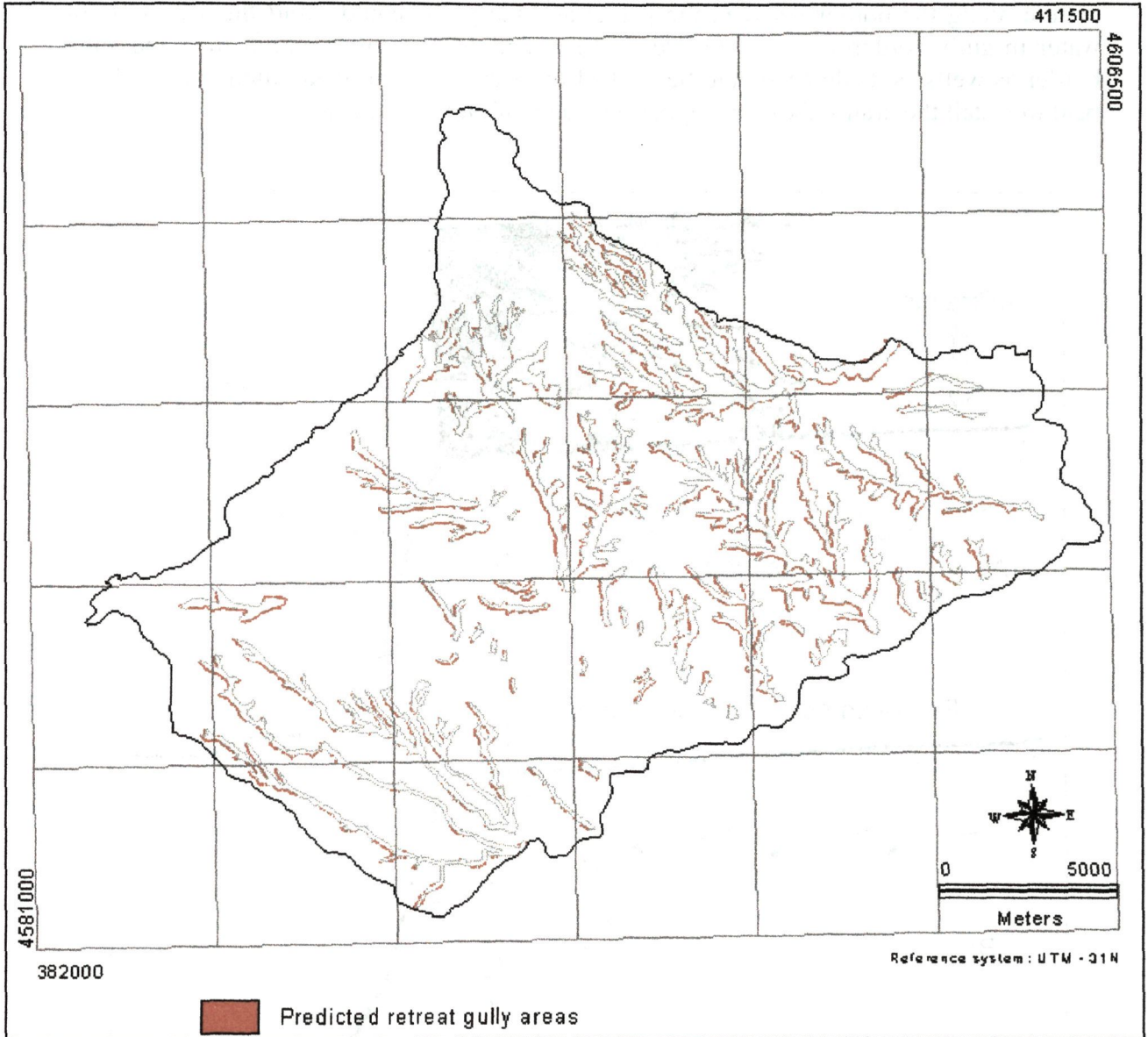


Figure 4.38. Hypothetical situation of the areas affected by the retreat of large gullies in the period 1993-2030 in the Alt Penedès – Anoia region, according to the proposed evolutive gully retreat model.

According to the above prediction, the gullies of the area to the north of the Anoia river would experiment higher retreat degrees than the gullies of the Low dissected valley-glacis unit. This confirms the higher potential for gully erosion in the former landscape units.

4.3.4. Preventive and control measures

In the Alt Penedès – Anoia, two are the main facts that determine the retreat of gully walls towards agricultural parcels and that new gullies develop in parcels. These are related to the manner runoff and infiltration water is managed. The retreat of gully walls is mainly caused by mass movements that are produced in the saturated zone of gully walls. This is caused by the infiltration and the accumulation of water in the lower parts of the parcels (Figure 4.39 A). The interception of the subsurface water flow, by means of a belt drainage system along the border between the parcel and the gully, could avoid the saturation of water in gully bordering areas (Figure 4.39 B). The distance of the drain from the gully border as well as its depth should be studied for each case. Particular attention should be paid to install the drains above the upper boundary of impermeable layers.

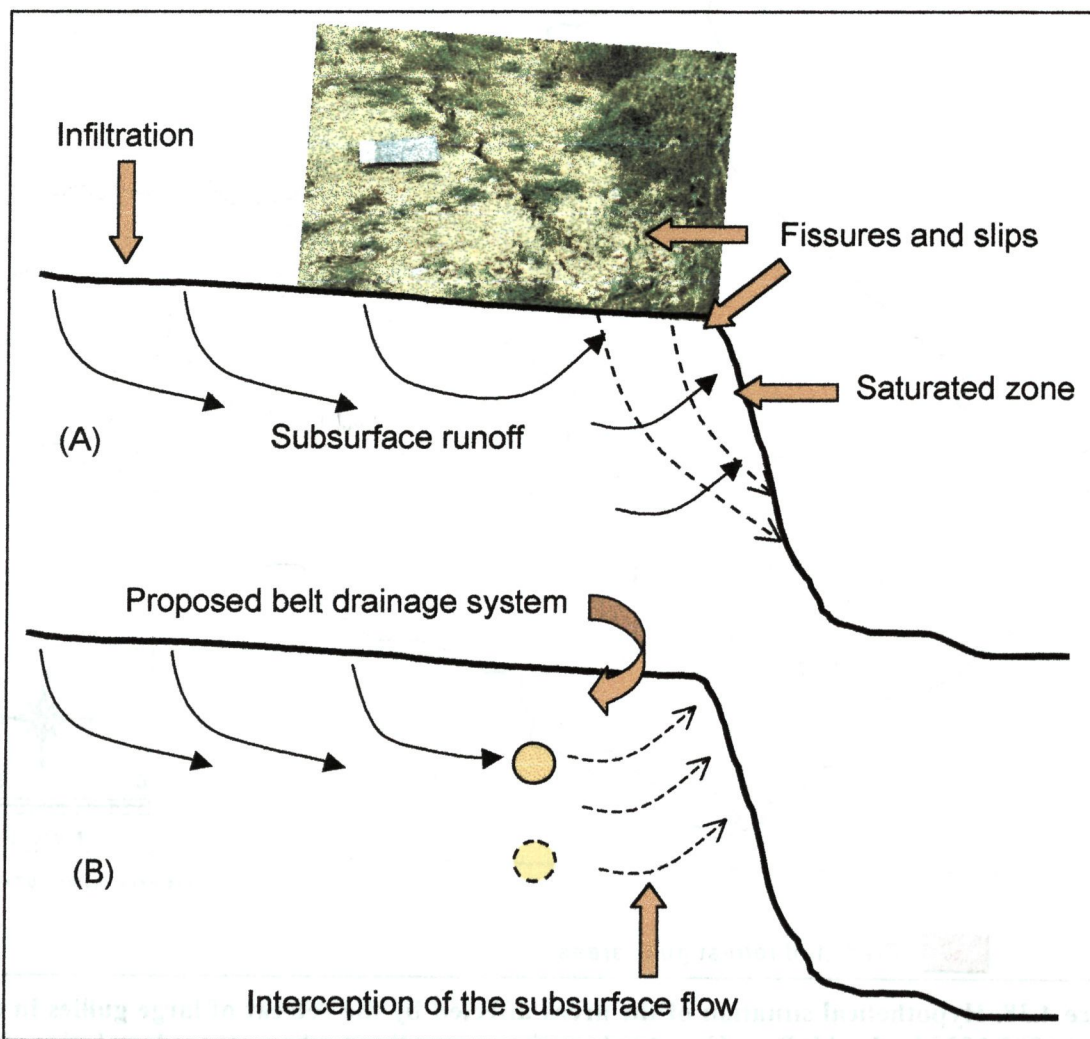


Figure 4.39. (A) Processes in the border between parcels and gullies, and (B) possible solution to avoid the saturation of those areas by subsurface runoff.

Another different process of gully wall retreat is caused by the concentration of water in drainage channels. The outlets of these channels are located in the border between the parcels and gullies (Figure 4.40 A). During high intensity rainfalls, the strength of the water flow in the outlet of drainage channels produces the erosion of the gully wall border and the development of new gullies towards headwater areas. These new gullies usually experiment a rapid growth thanks to the high relative relief with respect to the base level of the main gully. The free way out of water in the border of parcels may constitute truly waterfalls (Figure 4.17). This erodes the base, and the upper part of the wall finally falls by gravity (Figure 4.40A and B). A possible solution is the canalisation of runoff water from the present outlets to the gully water courses (Figure 4.40 C).

These measures should be complemented with other. These would have to be addressed to stabilise the gradient of the large gullies, as for example check dams.

The field work has shown that non of the above mentioned control measures are usually implemented in the study area. Farmers conduct runoff water to the border of their parcels and they fill ephemeral gullies that appear after high intensity rainfalls. When a gully wall falls and part of a parcel goes away, farmers fill the gully with soils or geologic materials, which are moved from other parts of the parcel. It involves big investments and it does not avoid gully erosion. At present, this is generally the erroneous idea that many farmers have about the sustainability of present land uses.

A change in the manner water is managed must be produced. First, it is very important to persuade farmers to implement those or other control measures, so the agricultural land uses are secured in decades to come.

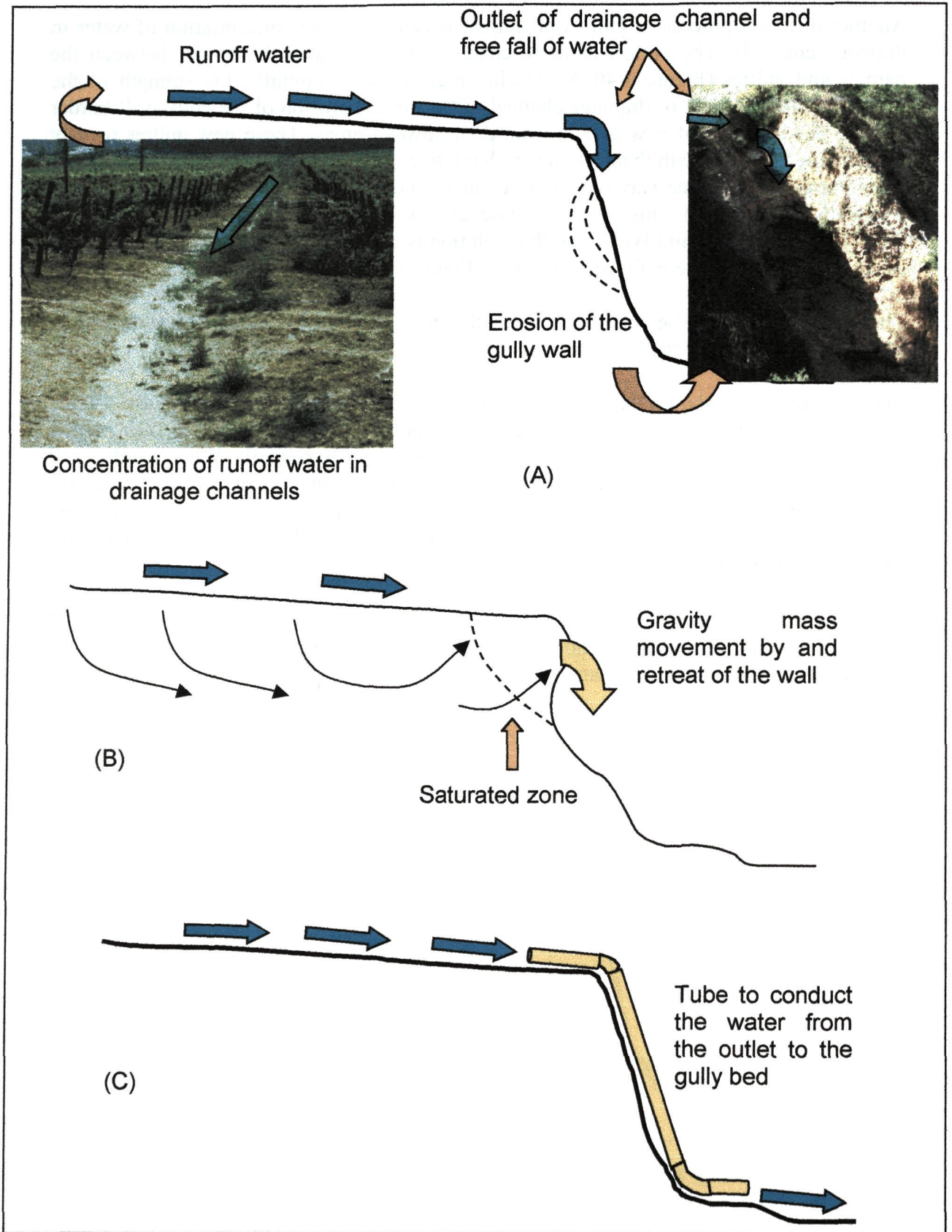


Figure 4.40. (A) Concentration of runoff water in drainage channels and free fall of water on the gully walls, (B) erosion of the gully walls and gravity mass movements, and (C) possible solution by means of the canalisation of runoff water from parcels to gully beds.

4.4. Conclusions

a. Methodology for gully erosion mapping and modelling

- Remote sensing and Geographical Information Systems (GIS) have been valuable techniques in the mapping of existing gully erosion, in the monitoring and calculation of gully erosion rates, and in the prediction of gully erosion.
- The interpretation of aerial photographs was the most useful tool for mapping gullied areas and for land cover/use mapping within the gullied areas. The Landsat image was useful to locate the main unvegetated gullied areas, such as badlands. The erosion processes occurring in vegetated gully walls had to be inferred from field observations.
- The proposed methodology to calculate the gully erosion rates at sub-catchment scale, based on the analysis of multi-temporal aerial photographs, multi-temporal Digital Elevation Models (DEMs) and GIS analysis, was as a valuable and easy to apply technique. This can be extended to other study areas.
- The evolutive gully growth model, based on the observed growth pattern and the use of cost-distance GIS functions, did not produce the expected results. It constitutes a very promising analysis tool. More research is needed to adjust the best fit friction surface representing the facilities/difficulties the terrain offers to the retreat of gully walls.

b. Gully erosion processes in the study area

- Gully erosion has been drastically accelerated since the XVI Century because of the massive deforestation and plantation of vineyards, and in the recent past since the advent of mechanisation. According to gully erosion indicators, the area can be considered as severely and very severely eroded.
- Gully growth is an active and dynamic process in the study area. The retreat of gully walls is mainly governed by mass movements, that are produced as result of the saturation of the unconsolidated calcilutites in the border areas between parcels and gullies. Precisely, the most vegetated gully walls usually coincide with the areas that present higher retreat rates, because of the prone wetter conditions of these areas for the two of them.
- Topography, because of its influence on the concentration of runoff and the power of the water flow, is one of the main responsible factors for gully development in vineyard parcels. The more complex the slopes and the higher the slope degrees the higher is the risk.
- The application of the considered gully erosion risk models to the study area revealed the High dissected valley-glacis unit present the highest potential for both existence of small gullies at parcel level and development of existing large gullies. High potential gully erosion also generalised in the northern as well as in the southern zones of the Piedmont-glacis unit.

4.5. References

- Balcells, A.**, 1980, *El problema agrario en Cataluña. La cuestión rabassaire (1890-1936)*. Serie de Estudios. Ministerio de Agricultura, Madrid.
- Bergsma, E.**, 1982, *Aerial photo-interpretation for soil erosion and conservation surveys. Part III: Erosion mapping*. ITC - Lecture notes SOL15. Enschede.
- Bergsma, E.**, 1987, Some central concepts in international soil conservation: A way of presentation. In: *Soil conservation and productivity*, Edited by I. Pla. Sociedad Venezolana de la Ciencia del Suelo, pp 28-45
- Bocco, G.**, 1990, *Gully erosion analysis using remote sensing and GIS*. PhD Thesis, University of Amsterdam, Amsterdam.
- Boixadera, J.**, 1983, *Proyecto de un área modelo de conservación de suelos en Piera-Masquefa*. PFC, ETSEA, UPC, Lleida.
- Brooks, N.K., Folliot, P.F., Gregersen, H.M. and Thomas, J.L.**, 1991, *Hydrology and the management of watersheds*. Iowa State University Press.
- Bufalo, M. and Nahon, D.**, 1992, Erosional processes of Mediterranean badlands: a new erosivity index for predicting sediment yield from gully erosion. *Geoderma*, 52: 133-147.
- Cerda, A.**, 1994, The response of abandoned terraces to simulated rain. In: *Conserving soil resources: European perspective*, Edited by R.J. Rickson, (Wallingford: CAB International), pp. 44-55.
- Chisci, G.**, 1994, Perspectives and soil protection measures in Europe. In: *Conserving soil resources: European perspective*, Edited by R.J. Rickson, (Wallingford: CAB International), pp. 339-353.
- Crouch, R.J. and Blong, R.J.**, 1989, Gully sidewall classification: methods and applications. *Zeitschr. F. Geomorphologie, N.F.*, 33: 291-305.
- Donker, N.H.W. and Damen, M.C. J.**, 1984, Gully system development and assessment of gully initiation risk in Miocene deposits near Daroca – Spain. *Zeitschr. F. Geomorphologie, N.F.*, Supplement-Bd 49: 37-50.
- Dymond, R.J. and Hicks, D.L.**, 1986, Steepland erosion measured from historical aerial photograms. *Journal of Soil and Water Conservation*, 41: 252-255.
- Garg, P.K. and Harrison, A.R.**, 1992, Land degradation and erosion risk analysis in S.E. Spain: A GIS approach. *Catena*, 19: 411-425.
- Gregory, K.J. and Gardiner, V.**, 1975, Drainage density and climate. *Zeitschr. F. Geomorphologie, N.F.*, 19: 287-298.
- Giordano, A. and Marchisio, C.**, 1991, Analysis and correlation of the existing soil erosion maps in the Mediterranean basin. *Quaderni di Scienza del Suolo*, 3: 97-132.

- Heede, H.**, 1970, Morphology of gullies in the Colorado Rocky mountains. *Bulletin International Association Society of Hydrology*, 15: 42-50.
- Heede, H.**, 1979, *Gully development and control*. USDA Forest Service Research Paper RM-169, Second edition. Fort Collins.
- Hernández, G.**, 1991, Métodos morfométricos en la identificación de áreas críticas en procesos erosivos. In: *Memoria del Taller de Erosion de Suelos*, 22-24 Julio 1991. Universidad Nacional de Heredia, Costa Rica.
- Hosmer, D.W. and Lemeshow, S.**, 1989, *Applied logistic regression*. John Wiley and Sons, Inc. New York.
- Imeson, A.C. and Kwaad, F.J.P.M.**, 1980, Gully types and gully prediction. *K.N.A.G. Geografisch Tijdschrift*, XVI (1980), 5: 430-441.
- Ireland, H. A., Sharpe, C.F. and Eargle, D.H.**, 1939, *Principles of gully erosion in the Piedmont of South Carolina*. US Department of Agriculture Technological Bulletin 63.
- ISSS**, 1996, *Terminology for soil erosion and conservation*. ISSS-ITC-ISRIC. Wageningen.
- López, J. and Zinck, J.A.**, 1991, GIS assisted modelling of soil-induced mass movement hazard: A case study of the upper coello river basin, Tolima, Colombia. *ITC Journal*, 1991-4: 202-220.
- Martínez-Casasnovas, J.A. and Cervera, T.**, 1996, Gully erosion mapping by remote sensing techniques. A case study in the Anoia – Penedès region (NE Spain). *Primer Congreso Europeo sobre el Control de la Erosión, Abstract Book, Session 6: Measuring and modelling erosion processes*. Sitges (Barcelona), 29-31 May 1996.
- Martínez-Casasnovas, J.A., Poch, R.M., Fargas, D., Serrat, N., Penella, E. and 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*, pp 1-12. Confederación Hidrográfica del Ebro, Zaragoza, 22-24 october 1997.
- Martínez-Casasnovas, J.A.**, 1998, A cartographic and a database approach for land cover/use mapping and generalisation from remotely sensed data. *International Journal of Remote Sensing*, (submitted March 1998, reviewed august 1998).
- Martínez-Casasnovas, J.A. and Stuiver, J.H.**, 1998, Automated delineation of drainage networks and elementary catchments from DEMs. *ITC Journal*, (in press).
- Meijerink, A.M.J.**, 1988, Data acquisition and data capture through terrain mapping units. *ITC Journal*, 1988-1: 23-44.
- Meyer, A. and 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 August 1998).
- Moore, I.D., Burch, G.J. and 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.
- Morgan, R.P.C.**, 1973, The influence of scale in climatic geomorphology: A case study of drainage density in West Malaysia. *Geografiska Annaler*, 55 A: 107-115.

- Morgan, R.P.C.**, 1979, *Soil erosion*. Longman G. Ltd. London.
- Mulders, M.A.**, 1987, *Remote sensing in soil science*. Developments in Soil Science num. 15. Elsevier, Amsterdam.
- Palacio, J.L. and López, J.**, 1994, Videography: an alternative remote sensing tool for monitoring gully erosion. *ITC Journal*, 1994-3: 233-237.
- Penella, E.**, 1997, *Caracterización de badlands y análisis de su dinámica mediante estudio multitemporal de fotografías aéreas y SIG en Campo (Huesca)*. PFC, ETSEA, Universitat de Lleida, Lleida.
- Poch, R.M., Martínez-Casasnovas, J.A., Usón, A. and Ramos, M.C.**, 1996, Conservació de sòls en vinyes de l'Anoia – Penedès: un enfoc cap a la sostenibilitat. *Actes de les Jornades sobre Agricultura i Medi Ambient*. Mollerusa, 16 March 1996.
- Porta, J., Ramos, M.C. and Boixadera, J.**, 1994, Mechanical measures for runoff management and erosion control in the vineyards of North East Spain. In: *Conserving soil resources: European perspective*, Edited by R.J. Rickson, (Wallingford: CAB International), pp. 369-378.
- Ramos, M.C. and Porta, J.**, 1993, Modelos de distribución espacio-temporal de las lluvias en la zona Mediterránea del Anoia-Penedés. Influencia en la sostenibilidad de los cultivos de la zona. *Ecología*, 7: 47-56.
- Ramos, M.C. and Porta, J.**, 1994, Rainfall intensity and erosive potenciality in the NE Spain Mediterranean area. *Il Nuovo Cimento*, 17C, 3: 291-299.
- Richter, G.**, 1980, Soil erosion mapping in Germany and in Czechoslovakia. In: *Assessment of erosion*, M. De Boodt and D. Gabriels (editors). Chichester, John Wiley and Sons, pp 29-52.
- Serrat, N. and Martínez-Casasnovas, J.A.**, 1998, Cartografía del riesgo de erosión hídrica en grandes cuencas hidrográficas mediante de teledetección y SIG. *Revista Montes* (aceptado).
- SCS**, 1966, *Procedure for determining rates of land depreciation and volume of sediment produced by gully erosion*. Technical Release num. 32 (Geology), Engineering Division of the USDA Soil Conservation Service.
- Seginer, I.**, 1966, Gully development and sediment yield. *Journal of Hydrology*, 4: 236-253.
- Solè, Ll., Clotet, N., Gallart, F. and Sala, I.**, 1986, Análisis de las posibilidades de las imágenes TM en la detección de áreas degradadas en sectores montañosos. In: *Coumunicaciones científicas de la I Reunión Científica del Grupo de Trabajo de Teledetección*, N. Clotet and Ll. Solè (editors). Institut d'Investigacions Geològiques Jaume Almera. Barcelona.
- Solé-Benet, A., Calvo, A., Cerdà, A., Lázaro, R., Pini, R. and Barbero, J.**, 1997, Influences of micro-relief patterns and plant cover on runoff related processes in badlands form Tabernas (SE Spain). *Catena*, 31: 23-38.
- SSS**, 1994. *Keys to Soil Taxonomy*. 6th Edition 1994. U.S. Department of Agriculture – Soil Conservation Service, Washington, D.C.

- Stocking, M.A.**, 1980, Examination of the factors controlling gully growth. In: Assessment of erosion, M. De Boodt and D. Gabriels (editors), John Wiley and Sons, Chichester, pp. 505-520.
- Stroosnijder, L. and Eppink L.A.A.J.**, 1993, *Principles of soil and water conservation*. Lecture notes of course K200-500/510. WAU. Wageningen, The Netherlands.
- Thomas, A.W., Welch, R. and Jordan, T.R.**, 1986, Quantifying concentrated-flow erosion on cropland with aerial photogrammetry. *Journal of Soil and Water Conservation*, 41: 249-252.
- Thompson, J.R.**, 1964, Quantitative effect of watershed variables on rate of gully head advancement. *Transactions of the ASAE*, 7: 54-55.
- Usón, A.**, 1998, *Medidas de control de erosion en suelos de viña de las comarcas Anoia – Alt Penedès (Barcelona): Efectividad y viabilidad*. PhD thesis. Universitat de Lleida, Lleida.
- Van Zuidam, R.A.**, 1985, *Aerial photo-interpretation in terrain analysis and geomorphological mapping*. Smith Publishers. The Hage.
- Vazquez, L. and Zinck, J.A.**, 1994, Modelling gully distribution on volcanic terrains in the Huasca ara, central Mexico. *ITC Journal*, 1994-3: 238-251.
- Wischmeier, W.H. and Smith, D.D.**, 1978, *Predicting rainfall erosion losses - A guide to conservation planning*. USDA Agriculture Handbook num. 537. US Government Printing Office. Washington, DC.
- Williams, A.R. and Morgan, R.P.C.**, 1976, Geomorphological mapping applied to erosion evaluation. *Journal of Soil and Water Conservation*. 31: 164-168.
- Zinck, J.A.**, 1988, *Physiography and Soils*. Soil Survey Courses. Subject matter K6. ITC Lecture Notes SOL-41.
- 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.

1946-47 (July) - 1947 (July) - 1948 (July) - 1949 (July) - 1950 (July)

1946-47 (July) - 1947 (July) - 1948 (July) - 1949 (July) - 1950 (July)

1946-47 (July) - 1947 (July) - 1948 (July) - 1949 (July) - 1950 (July)

1946-47 (July) - 1947 (July) - 1948 (July) - 1949 (July) - 1950 (July)

1946-47 (July) - 1947 (July) - 1948 (July) - 1949 (July) - 1950 (July)

1946-47 (July) - 1947 (July) - 1948 (July) - 1949 (July) - 1950 (July)

1946-47 (July) - 1947 (July) - 1948 (July) - 1949 (July) - 1950 (July)

1946-47 (July) - 1947 (July) - 1948 (July) - 1949 (July) - 1950 (July)

1946-47 (July) - 1947 (July) - 1948 (July) - 1949 (July) - 1950 (July)

1946-47 (July) - 1947 (July) - 1948 (July) - 1949 (July) - 1950 (July)

1946-47 (July) - 1947 (July) - 1948 (July) - 1949 (July) - 1950 (July)

1946-47 (July) - 1947 (July) - 1948 (July) - 1949 (July) - 1950 (July)

5. Técnicas de teledetección, SIG y bases de datos espaciales para cartografía y modelización de suelos-paisaje-erosión.

(Remote sensing, GIS and spatial database techniques for soil-landscape-erosion mapping and modelling).

5.1. Obtención automática de relaciones espaciales en el análisis del territorio: Relaciones de adyacencia (vecindad) entre geoformas en el Alt Penedès – Anoia (Cataluña).

Martínez-Casasnovas, J.A. 1998. Obtención automática de relaciones espaciales en el análisis del territorio: Relaciones de adyacencia (vecindad) entre geoformas en el Alt Penedès – Anoia (Cataluña). *el 1er Congreso Nacional de Información Geográfica*. Sesión “La información geográfica en la gestión del territorial”, Valladolid, octubre de 1998.



Obtención automática de relaciones espaciales en el análisis del territorio: Relaciones de adyacencia entre unidades de paisaje en el Alt Penedès – Anoia (Cataluña).

Resumen

Una de las relaciones espaciales entre objetos más usadas en análisis del territorio es la adyacencia. Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) permiten registrar esta y otras relaciones como la conectividad y derivar otras a través de operaciones de análisis espacial como la proximidad, inclusión, intersección, etc. El registro de relaciones espaciales en modelos vectoriales se hace de una forma poco entendible por el usuario del sistema, que percibe las relaciones espaciales a nivel de objetos con existencia real o conceptual. La estructura de datos del mapa vectorial las considera a nivel de los elementos geométricos básicos o primitivos que definen las delineaciones de las unidades cartográficas del mapa. La obtención de índices de adyacencia entre unidades, como por ejemplo el porcentaje del perímetro que una unidad cartográfica X comparte con otra unidad Y, no suelen estar automatizadas por medio de funciones ejecutables en programas de SIG comerciales. Estos de índices son obtenidos a partir de la suma de las relaciones parciales entre delineaciones o polígonos que componen las unidades cartográficas, poniendo de manifiesto relaciones entre unidades a nivel global.

Un ejemplo de la aplicación de estos índices en análisis territorial es el de la adyacencia entre unidades geomorfológicas. En este sentido, el presente trabajo trata de la obtención y automatización de un índice de adyacencia para cuantificar la relación entre unidades geomorfológicas, que constituyen una información relevante para la descripción de las relaciones espaciales en el análisis del territorio. Como ejemplo se propone el índice de adyacencia entre unidades geomorfológicas y áreas de barrancos y badlands. Esta información podrá servir para la identificación de unidades de mayor riesgo de ser afectadas por la expansión de estas formas de erosión.

Se utiliza la estructura formal de datos (Formal Data Structure o FDS) propuesta por Molenaar (1993), como modelo de datos que permita la respuesta a consultas como la planteada del cálculo del índice de adyacencia entre unidades cartográficas de Paisaje y Relieve o cualquier mapa vectorial de áreas. La estructura formal de datos se ha implementado en el modelo físico de datos ArcInfo (ESRI). Como datos a los que aplicar el concepto y cálculo del índice de adyacencia se utiliza el mapa de unidades de Paisaje y Relieve del Alt Penedès-Anoia (Cataluña). La obtención del índice de adyacencia se ha automatizado mediante un programa, escrito en lenguaje macro y SQL (Structured Query Language) de Access (Microsoft), que manipula las tablas de atributos topológicos. Se ha elegido este entorno por su gran extensión a nivel de usuario y su fácil utilización. El programa combina en una macro las diferentes consultas estructuradas para el cálculo del índice de adyacencia.

5.1.1. Introducción

Una de las relaciones espaciales entre objetos más usadas en análisis del territorio es la adyacencia o también denominada vecindad. La justificación atiende a una de las principales leyes en geografía (Tobler 1970): todo está relacionado con todo pero los objetos o fenómenos más próximos entre sí están más relacionados que los más distantes.

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) permiten registrar esta y otras relaciones como la conectividad y derivar otras a través de operaciones de análisis espacial como la proximidad, inclusión, intersección, etc. A este respecto, el modelo vectorial topológico ofrece más posibilidades que el raster, ya que registra de forma explícita alguna de las relaciones elementales. En el modelo raster la única relación topológica posible es la vecindad de una celda con sus 4 u 8 vecinas, haciendo esto más complejo la obtención de relaciones entre objetos del terreno.

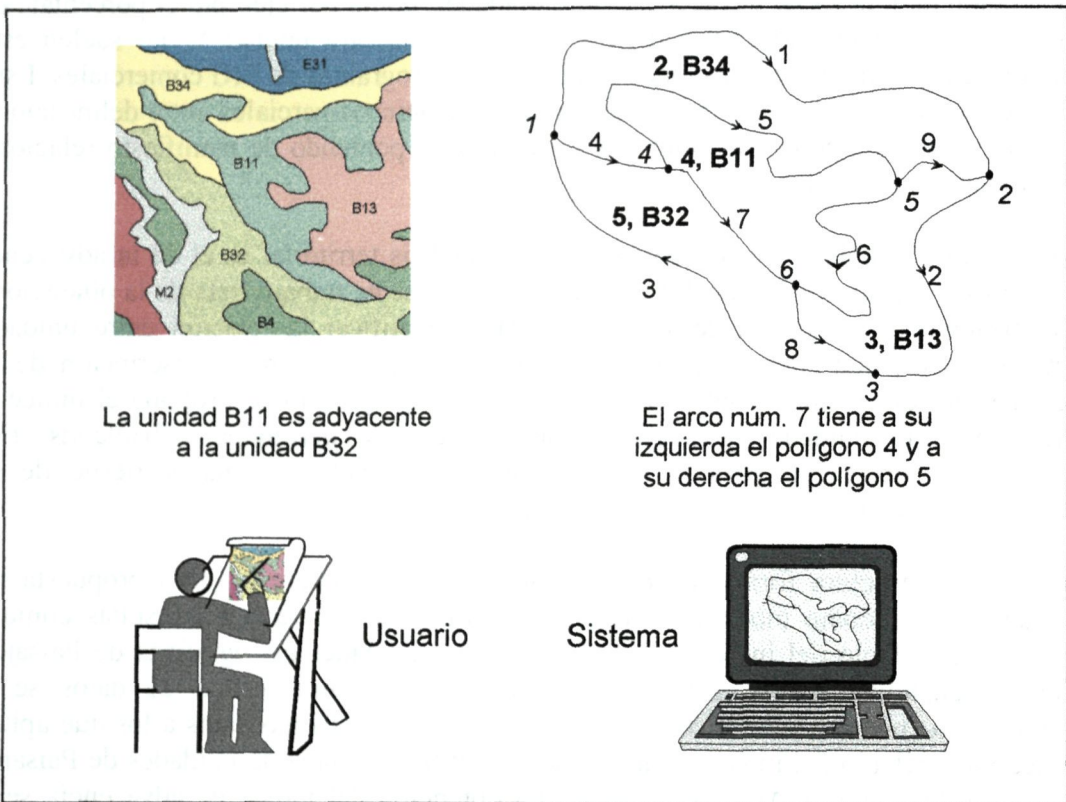


Figura 5.1.1. Percepción de relaciones espaciales entre objetos del terreno representados en un mapa y en un mapa vectorial en un Sistema de Información Geográfica.

A pesar de lo dicho sobre el registro explícito de relaciones espaciales en modelos vectoriales, este registro se hace a un nivel poco entendible por el usuario del sistema, que percibe las relaciones espaciales a nivel de objetos con existencia real o conceptual. Por su parte, la estructura de datos del mapa vectorial las considera a nivel de los elementos geométricos básicos o primitivos que definen las delineaciones de las unidades cartográficas del mapa (Figura 5.1.1).

Algunos de los programas de SIG existentes en el mercado, dentro del grupo de los denominados “desktop GIS” como por ejemplo Arcview o ArcInfo en el módulo Arcplot (ESRI), incorporan funciones que facilitan al usuario la búsqueda de polígonos adyacentes a uno o varios polígonos especificados. Estas herramientas son útiles en planificación territorial desde el punto de vista que permiten seleccionar áreas bajo la influencia o proximidad de zonas de actuación, identificar áreas de exclusión, etc. En estos casos el usuario no tiene por qué conocer la estructura de datos, pues el programa ejecuta una función programada, que la manipula en búsqueda de los polígonos adyacentes.

La obtención de índices de adyacencia entre unidades, como por ejemplo el porcentaje del perímetro que una unidad cartográfica X comparte con otra unidad Y, no suelen estar automatizadas por medio de funciones ejecutables en programas de SIG comerciales. Este tipo de índices se obtienen a partir de la suma de las relaciones parciales entre delineaciones o polígonos que componen las unidades cartográficas en cuestión, poniendo de manifiesto relaciones entre unidades a nivel global.

Un ejemplo de la aplicación de estos índices en análisis espacial es el propuesto por van Smaalen (1996). Este autor usa la relación global de adyacencia entre unidades para derivar objetos compuestos a partir de la agregación de objetos elementales que se presentan frecuentemente adyacentes en el espacio. De este modo, se pueden derivar representaciones de una realidad a diferentes escalas o niveles de agregación.

Otro ejemplo es el de la adyacencia entre unidades geomorfológicas (Zinck 1988, Zinck y Valenzuela 1990), que constituye una información relevante para la descripción de las relaciones espaciales entre unidades del territorio. El presente trabajo trata de la obtención y automatización de un índice de adyacencia para cuantificar la relación entre unidades de paisaje/relieve o geoformas. Como ejemplo se propone el índice de adyacencia entre unidades de paisaje/relieve y áreas de barrancos y badlands. Esta información podrá servir para la identificación de unidades de mayor riesgo de ser afectadas por la expansión de estas formas de erosión.

5.1.2. Materiales y métodos

5.1.2.1. Datos e índice de adyacencia

Como datos a los que aplicar el concepto y cálculo del índice de adyacencia se utiliza el mapa de geoformas (unidades de paisaje/relieve) del Alt Penedès-Anoia (Barcelona). Este mapa contiene delineaciones de las clases de geoformas o unidades cartográficas de paisaje/relieve que se describen en la Tabla 5.1.1.

Los atributos elementales asociados a cada delineación del mapa son: el número o código de la delineación, la unidad cartográfica (UC) o clase de geoforma a la que pertenecen, el área y el perímetro de la delineación. Otros atributos descriptores del relieve de las unidades cartográficas, como por ejemplo la pendiente media, densidad de drenaje, forma de las vertientes, etc., pueden ser también asociados a la entidad UC en la leyenda.

Tabla 5.1.1. Leyenda del mapa de unidades de paisaje/relieve (geoformas) del Alt Penedès-Anoia.

Unidad de Paisaje	Geoformas	Código Mapa
Montaña (Sierra Prelitoral)	Vertientes escarpadas (pendiente >25 %)	A
Pie de monte	Plataformas residuales poco disectadas, elevadas 140-160 m sobre los cauces principales del área, (pendiente 5-15 %)	B11
	Plataformas residuales moderadamente disectadas, elevadas 90-110 m sobre los cauces principales del área, (pendiente 5-15 %)	B12
	Plataformas residuales disectadas, elevadas 140-160 m sobre los cauces principales del área (pendiente 5-15 %)	B13
	Glacis (pendiente 5-15 %)	B2
	Vertientes suave o moderadamente inclinadas (pendiente 1-10 %)	B31
	Vertientes moderadamente inclinadas (pendiente 5-15 %)	B32
	Vertientes complejas fuertemente inclinadas (pendiente 5-15 %)	B33
	Vertientes moderadamente escarpadas o escarpadas (pendiente 20-30 %)	B34
	Fondos (pendiente 5-15 %)	B4
Vertientes y barrancos	Divisorias redondeadas (pendiente 5-15 %)	C1
	Vertientes complejas fuertemente inclinadas (pendiente 5-15 %)	C21
	Vertientes complejas fuertemente inclinadas o colinadas (pendiente 10-20 %)	C22
	Vertientes complejas colinadas (pendiente 15-20 %)	C23
	Vertientes moderadamente escarpadas a escarpadas (pendiente 20-30 %)	C24
Relieve suavemente ondulado (Pla del Penedès)	Asociación de divisorias y vertientes moderadamente inclinadas (pendiente 5-10 %)	D1
	Vertientes cóncavas suavemente inclinadas (pendiente 1-5 %)	D21
	Vertientes en glacis y antiguas llanuras aluviales (pendiente 1-10 %)	D22
	Vertientes cóncavas moderada o fuertemente inclinadas (pendiente 5-10 %)	D23
	Vertientes moderadamente escarpadas (pendiente 10-20 %)	D24
	Fondos (pendiente 5-10 %)	D3
Niveles aluviales recientes	Llanuras aluviales (pendiente 1-10 %)	E1
	Asociación de llanuras aluviales y terrazas (pendiente 5-10 %)	E2
	Terrazas bajas (pendiente 5-15 %)	E31
	Terrazas medias (pendiente 5-15 %)	E32
	Asociación de terrazas y glacis coluviales (pendiente 5-15 %)	E33
Áreas misceláneas	Áreas urbanas, industriales y de extracción	M1
	Barrancos y badlands	M2

El índice de adyacencia (IA) entre dos objetos o, en este caso, entre dos unidades cartográficas X e Y se define como (van Smaalen 1996; Ecuación 5.1.1).

Ecuación 5.1.1 $IA_{(X,Y)} = P_{(X,Y)} / P_{(X)}$

Siendo: $IA_{(X,Y)}$ = Índice de adyacencia de la unidad X con la unidad Y
 $P_{(X,Y)}$ = Perímetro común total entre las unidades X e Y
 $P_{(X)}$ = Perímetro de la unidad X (suma del perímetro de todas las delineaciones)

El índice de adyacencia puede expresarse también como porcentaje respecto al perímetro de la unidad X, multiplicando IA por 100.

Para la evaluación del IA se propone *a priori* el criterio expuesto en la Tabla 5.1.2.

Tabla 5.1.2. Clases de adyacencia entre unidades cartográficas en función del índice de adyacencia.

Clase de adyacencia de la unidad X con respecto a la unidad Y	IA = Porcentaje (%) de perímetro de la unidad X compartido con la unidad Y
Baja	< 10
Media	10 - 25
Alta	25 - 50
Muy alta	> 50

5.1.2.2. Estructuras de datos

El modo de representación de las unidades cartográficas seleccionado es la estructura de datos vectorial topológica, por su mayor eficiencia y posibilidad en el registro de relaciones espaciales o topológicas como la adyacencia. En este modelo la estructura espacial de una realidad se hace en términos de objetos punto, líneas y áreas

El modelo topológico, también denominado arco-nodo, se basa en tres conceptos fundamentales (Martínez-Casasnovas 1994):

- **Conectividad:** Los arcos se conectan entre ellos en los nodos.
- **Adyacencia:** Los arcos tienen dirección, determinada por el nodo inicial y el nodo final, que define el espacio a la derecha y el espacio a la izquierda (Figura 5.1.2).
- **Definición de áreas:** Los arcos que se conectan rodeando un área definen un polígono.

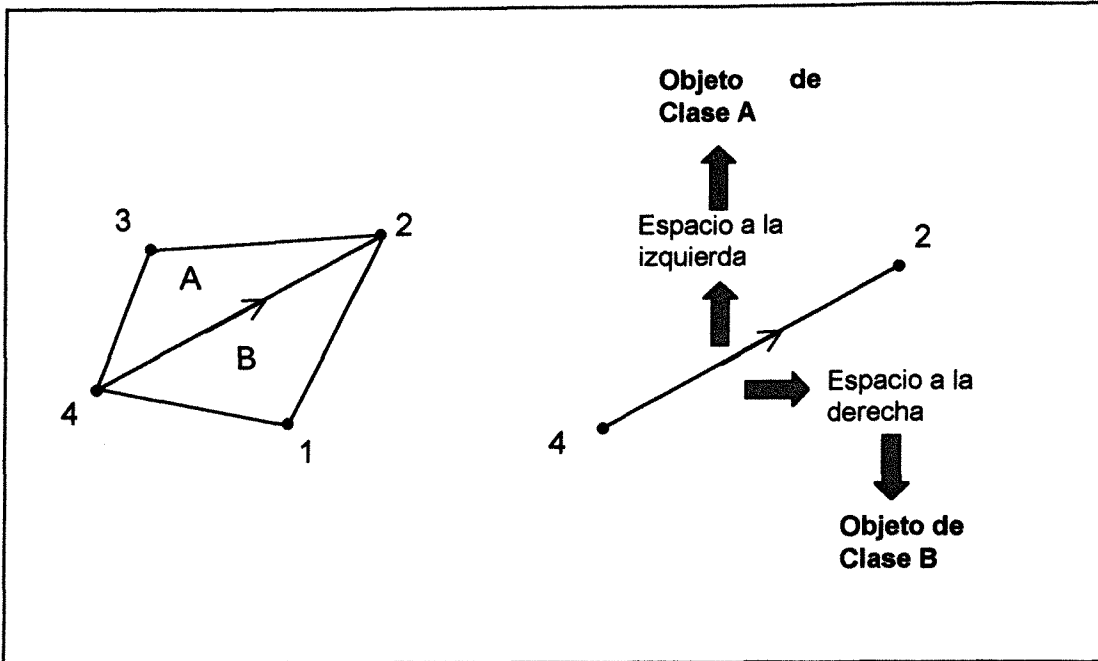


Figura 5.1.2. Relación de adyacencia entre áreas (representadas por polígonos). (Molenaar y Martínez-Casasnovas 1996).

Estos tres tipos de relaciones pueden registrarse en forma de tablas denominadas de topología (una para cada tipo de elemento geométrico básico o primitivo): tabla de topología de nodos, de arcos y de polígonos (Figura 5.1.3).

Para poder derivar de forma automática las relaciones espaciales, a nivel de objetos con existencia real, es necesaria una estructura de datos en la que las relaciones entre los objetos del terreno y los elementos geométricos o primitivos estén registradas (Martínez-Casasnovas 1994, Martínez-Casasnovas y Molenaar 1995). De esta forma, la respuesta a consultas como la planteada del cálculo del índice de adyacencia entre UCs de Paisaje/Relieve o cualquier mapa vectorial de áreas podrán ser fácilmente obtenidas.

Una estructura conceptual de datos que cumple estos requisitos es la Estructura Formal de Datos (Formal Data Structure o FDS) propuesta por Molenaar (1989 y 1993). Es una estructura vectorial topológica que registra las relaciones entre entidades a tres niveles: a) primitivos geométricos, b) primitivos geométricos y objetos del terreno y c) objetos del terreno (Figura 5.1.4). La descripción de este modelo de datos para mapas vectoriales y las relaciones entre los diferentes niveles topológicos ha sido formalizada por Molenaar y Martínez-Casasnovas (1996).

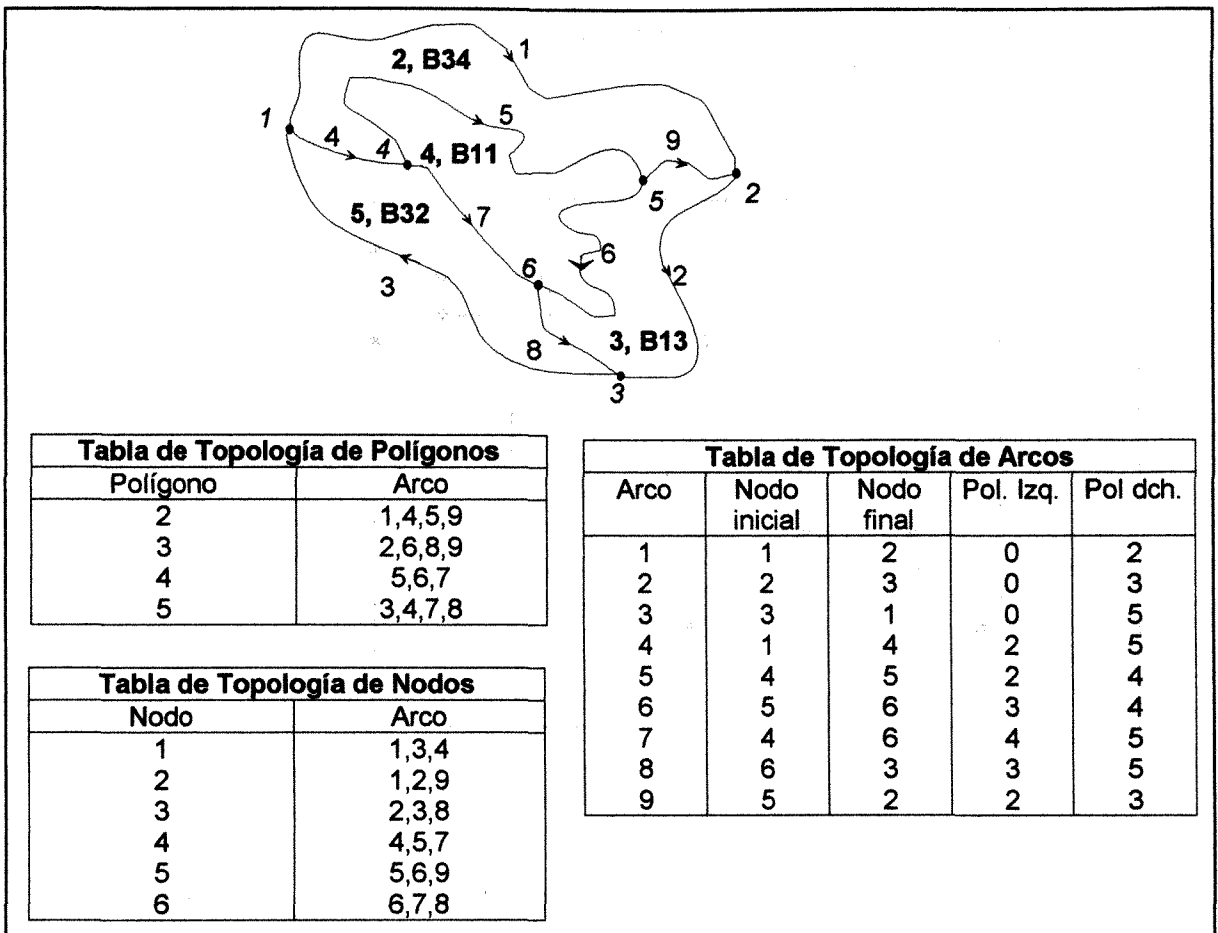


Figura 5.1.3. Representación gráfica vectorial y tablas de topología. Los polígonos representan delineaciones de unidades cartográficas (UC), con los que guardan una relación uno-a-muchos: por ejemplo, una UC puede tener una o más delineaciones en el mapa, mientras que una delineación solo pertenece a una UC.

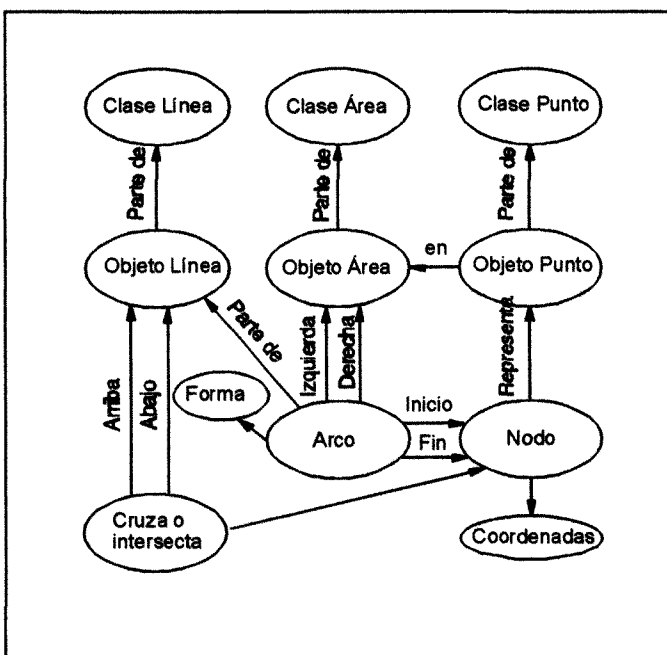


Figura 5.1.4. Estructura Formal de Datos (FDS) según Molenaar (1989). (Las flechas representan relaciones uno-a-muchos entre entidades: p.e. un objeto línea se compone de uno o más arcos).

La estructura formal de datos se ha implementado en el modelo físico de datos ArcInfo (ESRI), según el modo propuesto por van Smaalen y Molenaar (1993) (Figura 5.1.5).

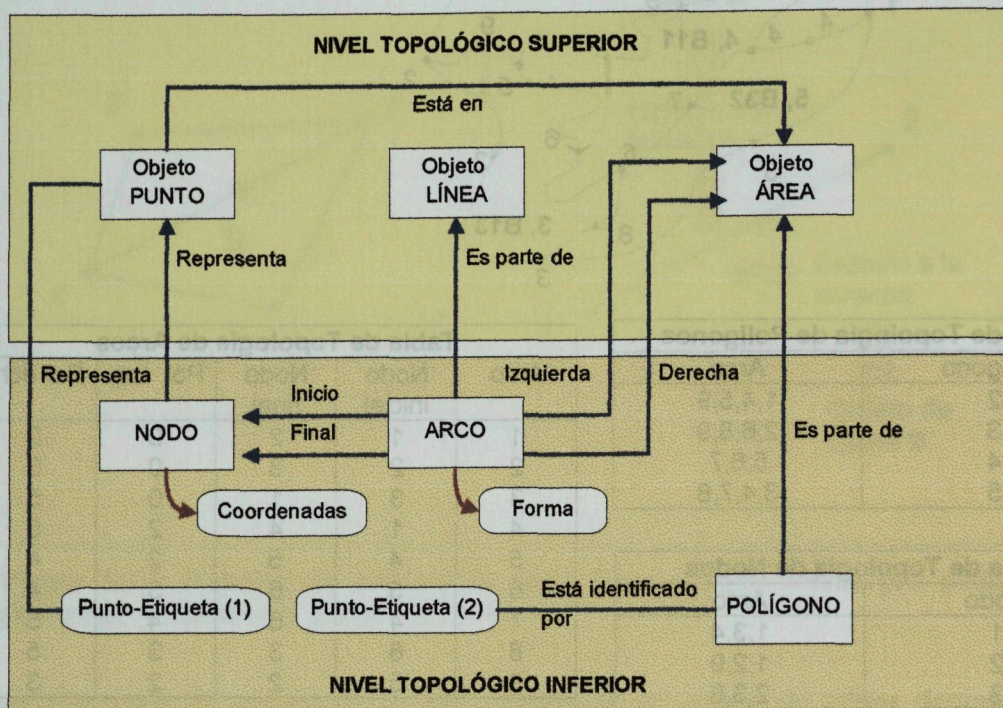


Figura 5.1.5. Estructura Formal de Datos (FDS) implementada en ArcInfo (van Smaalen y Molenaar 1993). (Las flechas representan relaciones uno-a-muchos).

El mapa de UC de Paisaje/Relieve se ha traducido a la estructura física del modelo ArcInfo, produciendo una cobertura o mapa vectorial que lleva asociadas dos tablas: a) tabla de atributos de polígonos (PAT, Tabla 5.1.3) y b) tabla de atributos de arcos (AAT, Tabla 5.1.4).

Tabla 5.1.3. Descripción de los campos de la tabla de atributos de polígonos (PAT) de la cobertura Paisaje/Relieve.

Atributo	Descripción
AREA	Superficie (m ²) de cada delineación o polígono del mapa de unidades cartográficas (UC).
PERIMETER	Perímetro (m) de cada delineación o polígono del mapa de UC.
GEOMORFO_	Identificador interno de cada delineación o polígono del mapa de UC. Asignado automáticamente por el sistema.
GEOMORFO_I	Identificador del usuario de cada delineación o polígono del mapa de UC. Ha sido asignado automáticamente por el sistema de forma correlativa.
GEOMORFOL	Código de la UC a la que pertenece una delineación o polígono. (Ha sido añadido por el usuario a la tabla PAT creada por ArcInfo).

(Nota.- A excepción del atributo GEOMORFOL, el resto son generados automáticamente por ArcInfo para cualquier cobertura con topología de polígonos).

Tabla 5.1.4. Descripción de los campos de la tabla de atributos de arcos (AAT) de la cobertura Paisaje/Relieve.

Atributo	Descripción
FNODE	Nodo inicial de un arco que define el límite de un polígono.
TNODE	Nodo final de un arco que define el límite de un polígono.
LPOLY_	Identificador interno del polígono que se encuentra a la izquierda del arco. Se corresponde con el identificador GEOMORFO de la tabla PAT.
RPOLY_	Identificador interno del polígono que se encuentra a la derecha del arco. Se corresponde con el identificador GEOMORFO de la tabla PAT.
GEOMORFO	Identificador interno del arco. Asignado automáticamente por el sistema.
GEOMORFO_I	Identificador del usuario del arco. Ha sido asignado automáticamente por el sistema de forma correlativa.

(Nota.- todos los atributos de esta tabla son generados automáticamente por ArcInfo al crear topología de líneas a la cobertura vectorial).

5.1.2.3. Automatización del cálculo del índice de adyacencia

La obtención del índice de adyacencia se ha automatizado mediante un programa, escrito en lenguaje macro y SQL (Structured Query Language) de MS Access 7.0, que manipula las tablas de atributos PAT y AAT. Se ha elegido este entorno por su gran extensión a nivel de usuario y su fácil utilización. El programa combina en una macro las diferentes consultas estructuradas para el cálculo del índice de adyacencia.

5.1.3. Resultados y discusión

5.1.3.1. Estructura de datos

La aplicación de la estructura de datos FDS según el modelo ArcInfo al mapa vectorial de áreas (unidades de Paisaje/Relieve del Alt Penedès-Anoia), ha producido un modelo con tres niveles topológicos (Figura 5.1.6). Estos se corresponden con los diferentes niveles de percepción de las relaciones topológicas entre sistema (SIG) y usuario. El nivel topológico inferior registra las relaciones a nivel de primitivos y es directamente entendible por el sistema. El nivel topológico superior entiende las relaciones entre objetos con existencia real o conceptual, a nivel global de todos los miembros agrupados por clases (UCs). El puente entre ambos niveles lo constituye el denominado nivel intermedio, que registra las relaciones parciales de las delineaciones (miembros de una clase o UC) con los elementos geométricos que los definen en el mapa vectorial. Este nivel se corresponde con el de objetos área en la FDS de Molenaar (1989).

Este modelo de niveles topológicos supone una modificación del propuesto por van Smaalen y Molenaar (1993) al considerar un nivel superior donde se registran las relaciones entre entidades no espaciales sino conceptuales: las clases. Por otra parte, los polígonos son considerados parte de un nivel intermedio. Son individuos o miembros de las clases con existencia espacial, teniendo por tanto atributos geográficos: localización, área, perímetro, forma, etc. El nivel inferior está representado por los primitivos: nodos, arcos y puntos-etiqueta, que sirven para identificar los polígonos.

5.1.3.2. Programa para la obtención automática del índice de adyacencia

Del análisis de la estructura de datos del mapa vectorial de Paisaje/Relieve propuesta en la Figura 5.1.6, se deduce el procedimiento lógico para la obtención automática del índice de adyacencia (IA) mediante la manipulación de las tablas de atributos. Dicho procedimiento se muestra en la Figura 5.1.7. Se estructura en 4 fases (más una opcional si lo que se desea es solamente la adyacencia a una o varias UCs especificadas).

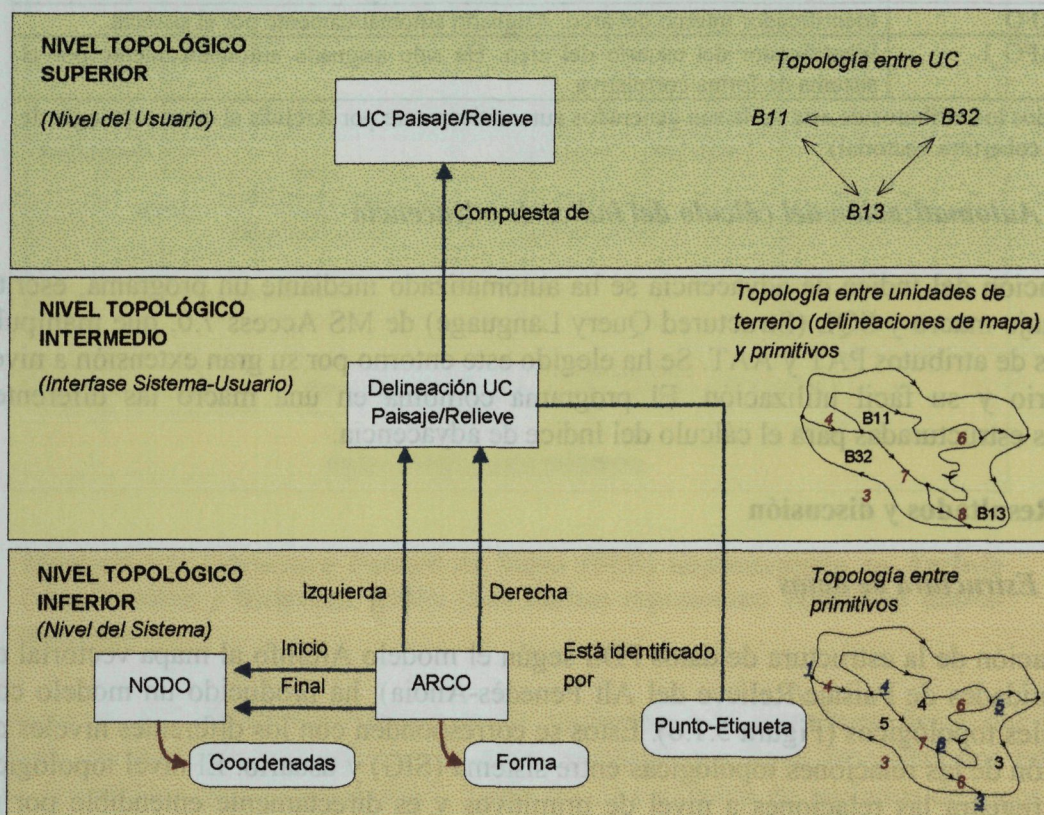


Figura 5.1.6. Niveles topológicos de la estructura de datos del mapa vectorial de unidades cartográficas utilizados para la obtención del índice de adyacencia. (En otras aplicaciones la entidad UC puede ser diferente a la de Paisaje/Relieve, p.e. unidades de vegetación, al igual que las delineaciones de las UCs).

La primera fase opera en los niveles topológicos inferior e intermedio, buscando los polígonos adyacentes y la UC a la que pertenecen a través de los arcos comunes que comparten. A nivel de consulta a las tablas de topología, esto se consigue mediante la relación de las tablas PAT y AAT por medio del identificador interno de los polígonos en la tabla PAT y sus homónimos RPOLY_ o LPOLY_ en la tabla AAT (Tabla 5.1.5).

El resultado son dos tablas, denominadas *arco* y *polígono a la derecha o izquierda* con los atributos: identificador del arco, longitud y clase de UC a la que pertenece el polígono a su derecha o izquierda.

Estas tablas son el punto de partida de la fase 2, con un doble objetivo: a) la búsqueda para cada delineación de una UC de los polígonos a su derecha o izquierda y b) la suma del perímetro o longitud de los arcos compartidos de los polígonos adyacentes pertenecientes a la misma UC.

La fase 3 opera en los niveles topológicos intermedio y superior de la Figura 5.1.6, ya que supone el cálculo del perímetro compartido entre combinaciones de UCs a partir de los parciales de cada delineación de la fase anterior y, por otra parte, el cálculo del perímetro total de las UCs a partir del de la suma de perímetros de cada delineación de una UC. A nivel de cálculo esta fase se ha resuelto mediante dos consultas SQL independientes, tal como se especifica en

El índice de adyacencia global entre UCs se obtiene finalmente mediante una relación entre perímetros compartidos y totales de la UC, que opera en el nivel topológico superior (fase 4). El resultado es una tabla con el IA de una unidad X con cada una de las otras UC consideradas en la leyenda del mapa vectorial.

De modo opcional, y a partir de la tabla final del IA, se puede seleccionar la adyacencia entre cualquier UC y la unidad Y, o bien entre la unidad X y la unidad Y. En la Tabla 5.1.5, y a modo de ejemplo utilizando el mapa de Paisaje/Relieve del Alt Penedès-Anoia, se muestra la consulta de selección del IA de las UCs del mapa a áreas de barrancos y badlands.