



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

B3.- Vertientes.

En esta unidad de paisaje existen vertientes de diferente tipo y grado de inclinación. Los niveles de plataformas residuales limitan en una ruptura de pendiente convexa con vertientes de pendiente moderadamente escarpada a escarpada (20-30%; subunidad B34, Figura 2.12 y Figura 2.15).

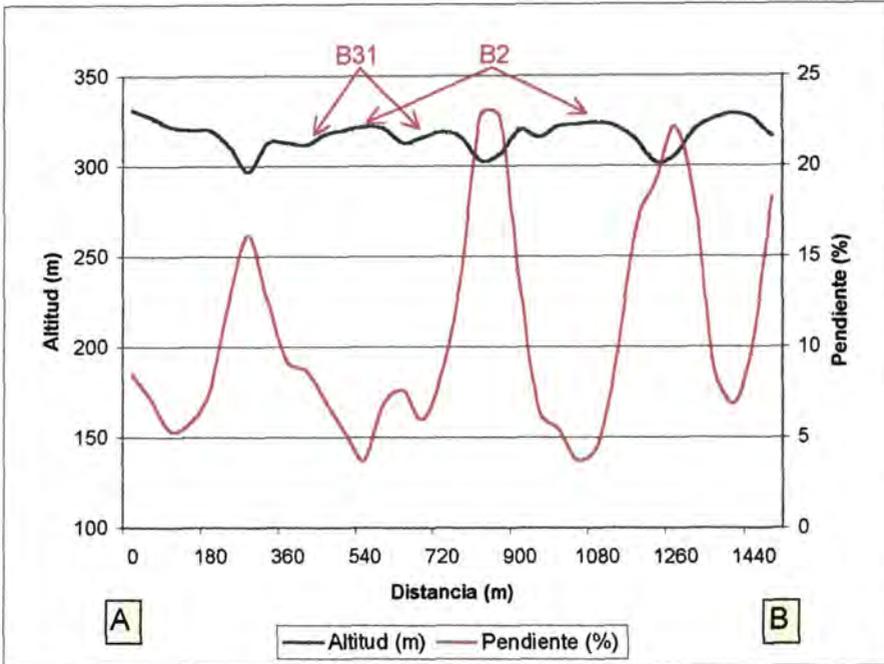


Figura 2.14. Perfil topográfico P-5.

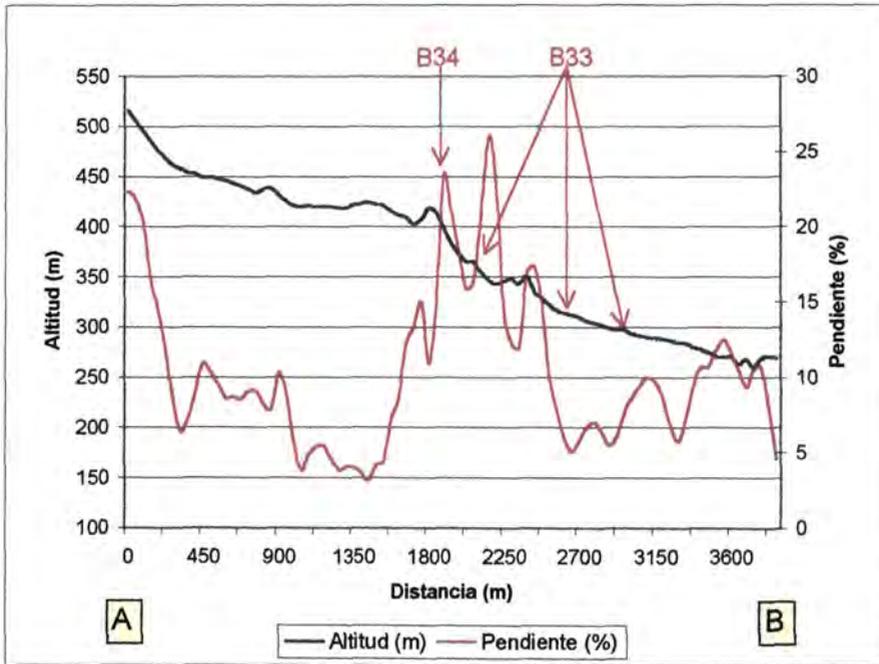


Figura 2.15. Perfil topográfico P-6.

Esta geoforma tiene la mayor pendiente media (23.7 %), relieve interno medio (25 m) y variabilidad de la pendiente de toda el área de estudio (a excepción del área de montaña); por lo que el potencial topográfico para la erosión hídrica puede considerarse como elevado. Sin embargo, el índice de adyacencia a barrancos muestra que no es una unidad típicamente disectada. Principalmente limita con unidades de plataforma residual y con vertientes complejas con menor grado de inclinación (subunidad B33).

De las vertientes de la subunidad B33 (Figura 2.15), las que conectan con el área de relieve suavemente ondulado (zona del Pla del Penedès) y las del valle del Riudevilles, se caracterizan por la presencia de resaltes estructurales de conglomerados. La complejidad de las vertientes se traduce en una mayor variabilidad del grado de pendiente dentro de esta geoforma (mayor rugosidad). También ha favorecido un incremento de la densidad de drenaje (2.8 km km^{-2}) respecto a vertientes predominantemente rectilíneas con el mismo grado de pendiente y litología dentro de la misma unidad de paisaje (1.8 km km^{-2}). La amplitud de relieve es moderada (15 m). El índice de adyacencia a barrancos es alto (40.7 % del perímetro), al igual que ocurre con otras unidades de vertiente de la unidad de paisaje de pie de monte, donde básicamente afloran margas y margas arenosas. Esto revela un elevado riesgo de crecimiento y desarrollo de cárcavas en estas vertientes.

En la parte más distal de la unidad de pie de monte, los escarpes tienen unas dimensiones muy reducidas, (prácticamente no son cartografiables a escalas semidetalladas). Los niveles residuales de gravas parecen conectarse directamente a vertientes de pendiente moderada (5-15 %). Estas vertientes constituyen la subunidad B32, donde también se dan amplias crestas en pendiente (de dirección paralela a los cauces principales), con vertientes cóncavas que conectan con fondos. Esta alternancia de formas hace que el relieve interno medio sea relativamente alto (21 m), aunque en realidad lo que existe es una distribución bimodal con dos intervalos predominantes: 5-15 m y 25-30 m.

Otro tipo de vertientes de pendiente moderada se dan en la zona NW del área de estudio, en la conexión con el zócalo paleozoico de la sierra. También estas vertientes están abruptamente recortadas por los barrancos y badlands desarrollados en esta área.

Vertientes de pendiente suave a moderada (1-10%) se dan de forma característica asociadas a la subunidad B2. Son fruto de la incipiente incisión de la red de drenaje en esta geoforma (Figura 2.14, subunidad B31). En general, estas vertientes son de forma rectilínea o convexa. Tiene una densidad de drenaje moderadamente alta (3.7 km km^{-2}), un relieve interno moderado que presenta un valor bimodal similar al de la subunidad B32. El índice de adyacencia a barrancos es muy alto (52.8 % del perímetro), siendo estos muy activos, lo que hace a esta unidad muy susceptible de ser afectada por su expansión lateral.

2.3.3.3. Unidad de paisaje de vertientes y barrancos

- Situación.

Al norte del río Anoia y hasta los límites N y SE del área de estudio. Se caracteriza por la ausencia de relieves residuales y por el desarrollo de una densa y profunda red de barrancos. Los más importantes son la riera de Rierusa, riera de Masquefa, torrent de Can Carrot, torrent



del Llop y arroyo de Claramunt. Las poblaciones más importantes en esta área son Masquefa y Sant Llorenç d'Hortons.

- Litología y estructura geológica.

En la zona norte y centro (sector Piera - Masquefa - Sant Llorenç) afloran arcillas rojas, areniscas y conglomerados con matriz arcillosa o arenosa sin cementar (IGME 1975b). Estos materiales fueron depositados en un ambiente fluviotorrencial lagunar, por lo que su alternancia a lo largo de la unidad es elevada. La no existencia de materiales cementados resulta en una ausencia de relieves residuales o estructurales. Tan solo puntualmente se encuentran lentejones de conglomerados parcialmente cementados en su parte superior por carbonato cálcico.

En la zona sur de la unidad (al sur de Sant Llorenç d'Hortons) afloran materiales depositados en ambientes marinos: arcillas muy plásticas, arenas arcillosas y limolitas de color amarillento y areniscas de grano grueso (Casanovas *et al.* 1972, IGME 1975c). La estructura geológica es subhorizontal, con ligero buzamiento hacia la Sierra Prelitoral.

- Red de drenaje.

La red de drenaje es dendrítica, caracterizada por una densa y profunda red de cárcavas y barrancos excavados en las calcilutitas y areniscas incoherentes que rellenan la fosa. La superficie afectada por la incisión supone el 23.2 % del total de la unidad.

En algunos de estos barrancos se han desarrollado llanuras de inundación, de una amplitud máxima entre 230-320 m, que ocasionalmente se aprovechan para viñedos o huertos.

El crecimiento de la red de drenaje es muy activo, en forma de cárcavas, que crecen preferentemente asociadas a los puntos y canales de desagüe de las parcelas de viña. No se han cartografiado fondos. En general, las vertientes limitan de forma abrupta con los barrancos.

- Geoformas.

En esta unidad de paisaje las formas típicas son las vertientes, modeladas por la incisión de la red de drenaje en las calcilutitas y areniscas incoherentes. En general, estas vertientes tienen un carácter complejo. El perfil transversal es cóncavo-convexo, con numerosas ondulaciones muchas veces solamente apreciables a nivel de parcela. Por término medio la pendiente es del 15.9 % (fuertemente inclinada o colinada) (Figura 2.16).

Las vertientes suelen culminar en unas divisorias estrechas, redondeadas por la erosión, en las que no existen depósitos residuales, o bien estos son conglomerados terciarios sin cementar. En su parte inferior las vertientes limitan o están abruptamente recortadas por profundos barrancos, que evolucionan lateralmente mediante desprendimiento de bloques a favor de fisuras causadas por la infiltración del agua, movimientos de masa y por crecimiento de cárcavas a favor de los canales o vías de desagüe de las parcelas.

La amplitud del relieve en esta unidad varía por término medio entre 13-20 m (moderada a relativamente alta).

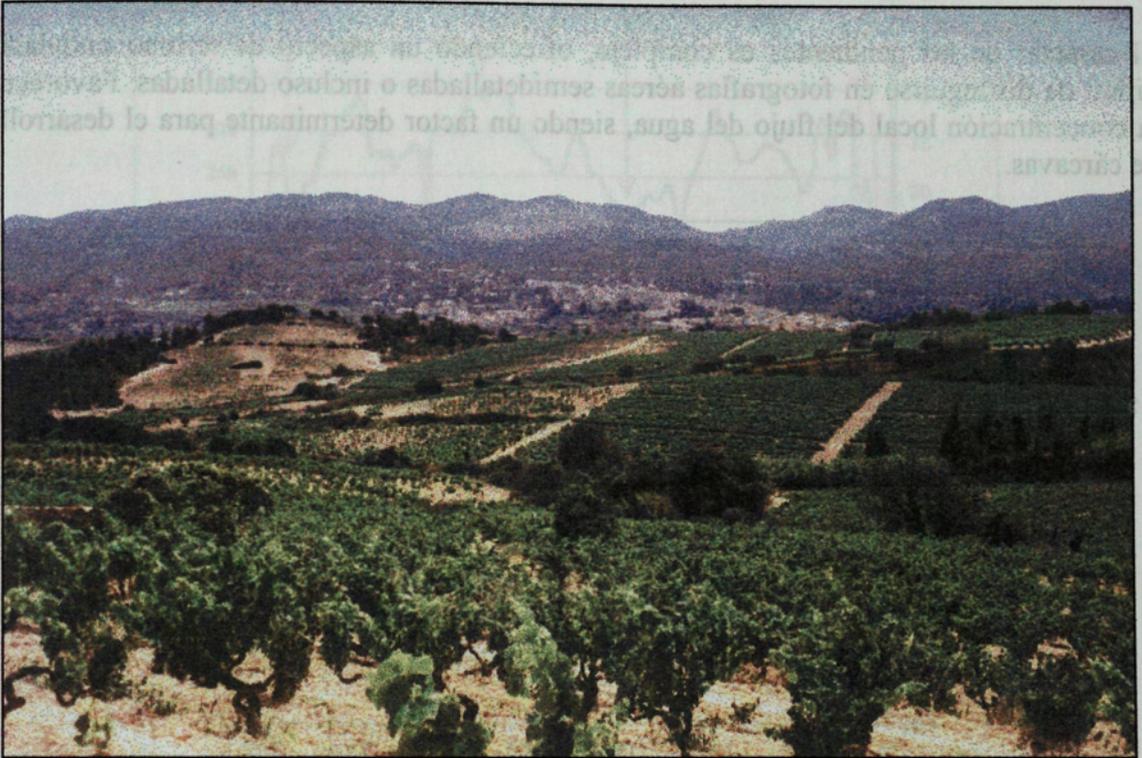


Figura 2.16. Relieve característico de la unidad de vertientes y barrancos. Destaca el carácter complejo de las vertientes y la disección del paisaje por la incisión de la red de drenaje.

Se han distinguido dos tipos de geoformas: divisorias y vertientes, agrupando esta última a diferentes tipos de vertientes.

C1. Divisorias.

Prácticamente no existen niveles residuales elevados que formen divisorias planas. Las divisorias son estrechas y redondeadas (Figura 2.17, Figura 2.18 y Figura 2.19). En muchos casos se corresponden con paleocanales que han perdido el nivel residual superior por la erosión, habiendo evolucionado a crestas redondeadas.

La pendiente media de la subunidad C1 es del 13 %, con una amplitud de relieve de 13 m, ya que se han incluido los segmentos convexos de la ruptura de pendiente. La densidad de drenaje es baja (0.8 km km^{-2}), habiéndose observado en campo la incipiente incisión de cárcavas en alguna de estas divisorias favorecidas por el cultivo de viña. Mayoritariamente limitan con vertientes complejas fuertemente onduladas o colinadas (48.2 % del perímetro).

C2. Vertientes.

El grado de disección de la unidad de paisaje es elevado, el cual viene indicado por una alta densidad de drenaje y una gran diferencia de altitud relativa respecto a los niveles de base

locales (entre 50 y 100 m). Esto hace que las vertientes de enlace entre las divisorias y los barrancos tengan, por lo general, una pendiente de moderada a fuerte (5-15%), superándose en numerosas zonas, distintas a paredes de barrancos, el límite del 20%.

El carácter de las pendientes es complejo, ofreciendo un aspecto de terreno ondulado, difícil de distinguirse en fotografías aéreas semidetalladas o incluso detalladas. Favorecen la concentración local del flujo del agua, siendo un factor determinante para el desarrollo de cárcavas.

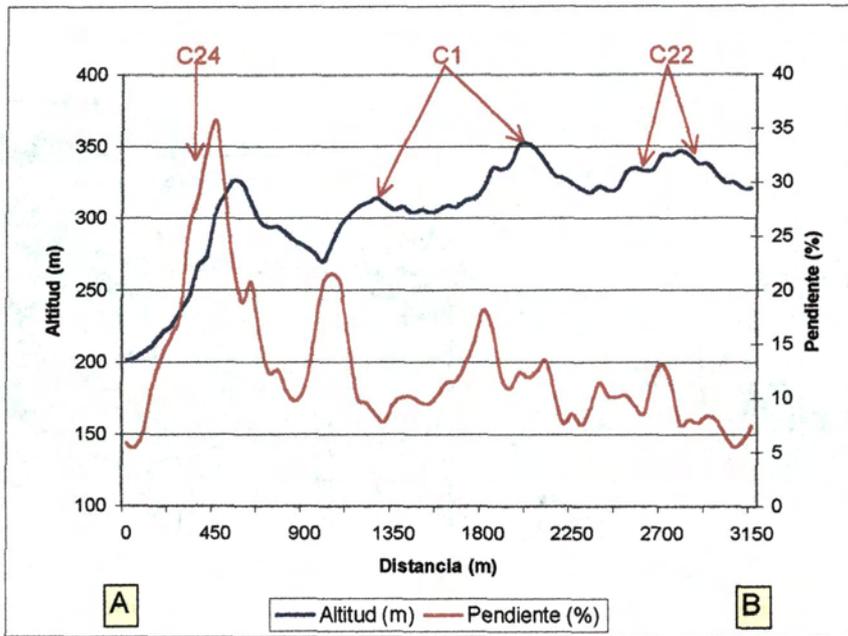


Figura 2.17. Perfil topográfico y de pendiente P-7.

Se han distinguido diversos tipos de vertientes según la pendiente general (grado de inclinación):

- C21: Vertientes complejas fuertemente inclinadas, de pendiente entre el 5-15%.
- C22: Vertientes complejas fuertemente inclinadas a colinadas, de pendiente 10-20%. (Figura 2.17 y Figura 2.18).
- C23: Vertientes colinadas, de pendiente 15-20%. (Figura 2.19).
- C24: Vertientes moderadamente escarpadas o escarpadas, de pendiente 20-30%. (Figura 2.17 y Figura 2.18).

Dentro de estas subunidades de vertiente no se han incluido las paredes de los barrancos. Tampoco se han encontrado fondos de tamaño cartografiable, considerándose incluidos en las unidades de vertiente. En general, las vertientes tienen una amplitud de relieve moderada o relativamente alta (15 m subunidad C21 y 20.5 m subunidad C24). La variabilidad de las pendientes es alta en todos los casos y presenta valores de rugosidad entre 19.6 y 36.5. La densidad de drenaje es moderada, entre 2.1 y 2.5 km km⁻²; siendo característico de las vertientes de la unidad de paisaje su alto grado de conexión a la red de cárcavas y barrancos. En este sentido las vertientes presentan índices de adyacencia a barrancos altos o muy altos (39.3 y 50.1 % del perímetro).

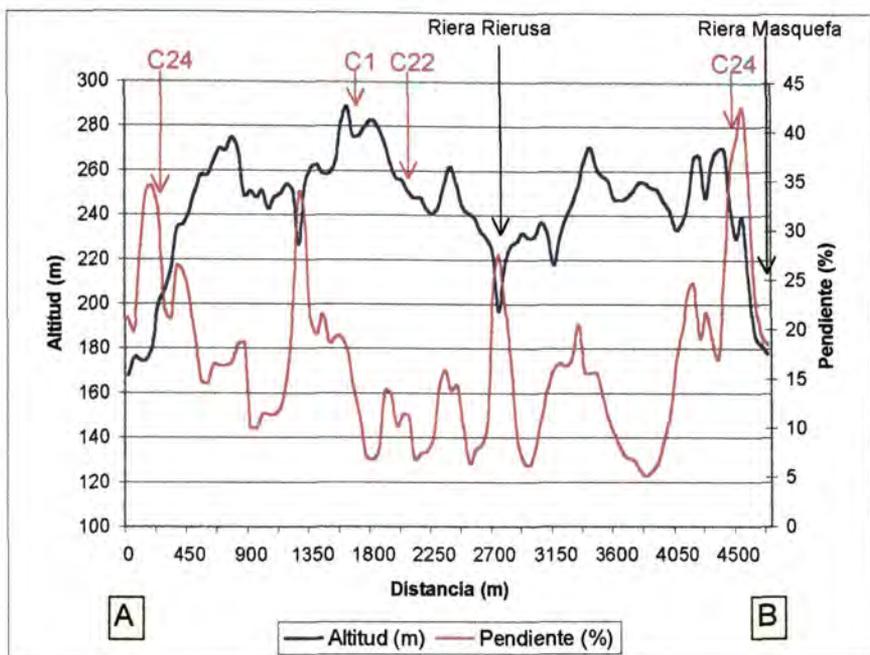


Figura 2.18. Perfil topográfico y de pendiente P-8.

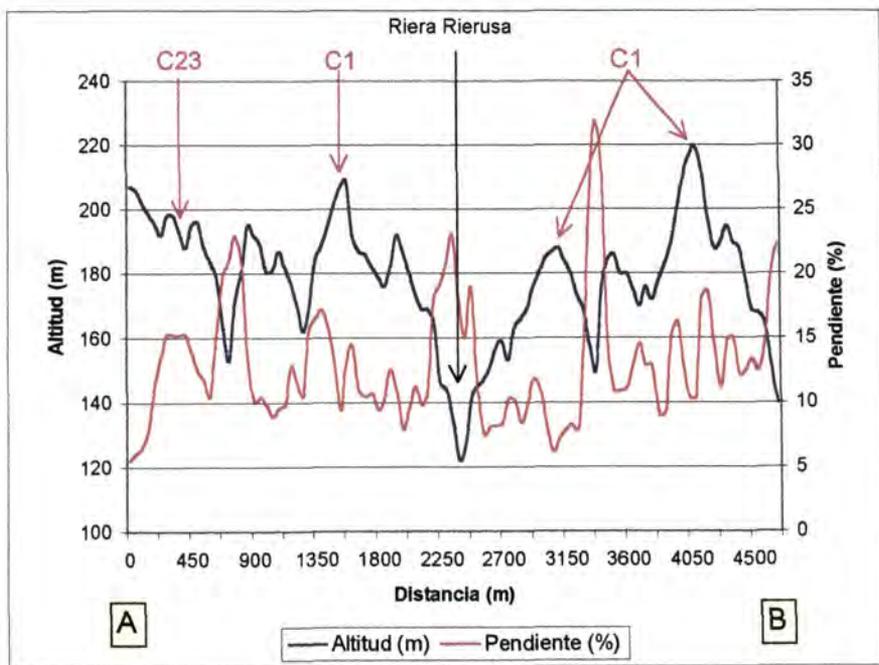


Figura 2.19. Perfil topográfico y de pendiente P-9.

2.3.3.4. Unidad de relieve suavemente ondulado (Pla del Penedès)

- Situación.

Area comprendida entre el pie de las vertientes de las plataformas residuales de la Plana de les Estoses y Carrer Can Rossell, y el límite sur del área de estudio: riera del Avernó y Pudról de la Granada.

- Litología y estructura geológica.

Predominio del cuaternario indiferenciado, que corresponde a suelos que enmascaran las series miocenas. En zonas más proximales a la vertiente de las plataformas residuales, y en los cauces excavados por la red de drenaje aflora una serie sedimentaria de fácies perideltaica de edad miocena. Está definida por pasadas rojas, arcillosas y arenosas muy mal seleccionadas (IGME 1973). Estas cuñas y lentejones fueron depositados en un medio marino poco profundo al que ocasionalmente llegaban fuertes aportes continentales.

La estructura geológica es subhorizontal, con ligero buzamiento hacia la Sierra Prelitoral.

- Red de drenaje.

La mayor parte de la red de drenaje es funcional, compuesta por diversos arroyos paralelos, que cruzan la depresión de NW a SE en dirección perpendicular a la dirección de la falla del pie de la Sierra Litoral. Su densidad es variable: la distancia entre estos arroyos varía entre los 300 y 2000 m, habiendo mayor densidad en las proximidades del pie de las vertientes de las plataformas residuales de la zona del río Riudeviltles, donde el gradiente topográfico es mayor. Están encajados entre 15-25 m. En estos cauces se han formado pequeñas llanuras de inundación que tienen un uso agrícola de cierta demanda.

Otra parte de la red de drenaje es no funcional, en valles planos que se encajan en las formas residuales y en las vertientes. Es frecuente encontrar evidencias de erosión remontante en estos valles, como el crecimiento de cárcavas y barrancos a favor de ellos.

La densidad de drenaje varía entre valores muy bajos (0.1 km km^{-2} a valores moderados 1.8 km km^{-2}).

- Geoformas.

Esta unidad se caracteriza por la abundancia de llanuras suavemente onduladas en las que resaltan algunos niveles residuales de gravas (Figura 2.20).

La Figura 2.21, Figura 2.22 y Figura 2.23 muestran 3 perfiles topográficos y de pendiente correspondientes a 3 cortes transversales en diferentes partes de la unidad de paisaje. En estos perfiles se observa el predominio de las vertientes de pendiente suave a moderada (1-10%), relegándose las pendientes más elevadas a las zonas de incisión de la red de drenaje y al límite sur de la unidad (divisoria Foix-Romani).

La amplitud de relieve varía por término medio entre 5-6 m en las divisorias a 19 m en las vertientes de mayor pendiente. La amplitud máxima se produce en el límite sur del área (divisoria Foix-Romaní).

Dentro de esta unidad se diferencian tres tipos de geoformas:

- D1: Asociación de divisorias y vertientes.
- D2: Vertientes.
- D3: Fondos de valle.



Figura 2.20. Morfología del paisaje característica de la unidad de relieve suavemente ondulados.

D1. Asociación de divisorias y vertientes.

Las áreas representadas por esta unidad menor coinciden litológicamente con los afloramientos miocenos de la serie sedimentaria de facies perideltaica, correspondientes a pasadas rojas arcillosas y arenosas mal seleccionadas (IGME 1973).

El encajamiento de la red de drenaje ha producido la erosión diferencial de los materiales, originando una serie de divisorias donde o bien permanecen residuos de conglomerados sin cementar, o bien hay bancos de arenas con diversos grados de cementación, que se han comportado como materiales más resistentes a la erosión (Figura 2.23). En algunos casos el nivel resistente ya no está presente, quedando una superficie alomada de forma convexa (pendiente 5-10%).

Las formas resultantes de esta erosión diferencial se han agrupado en una asociación de formas: divisorias redondeadas o planas, de escasa amplitud (<100 m), con límites difusos en

un cambio de pendiente convexo. Estas divisorias están colgadas unos 20-30 m respecto a los cauces locales del área. Las vertientes que las limitan son en general cóncavas, de longitudes entre 50 y 200 m, y de pendientes moderadas. Por término medio, esta geoforma tiene una pendiente de 7.8%.

El relieve interno medio es el más bajo de toda el área de estudio (6 m), con una baja densidad de drenaje (0.7 km km^{-2}). Esta unidad presenta su mayor índice de adyacencia con fondos que conectan con las vertientes asociadas a las divisorias (36.1 % del perímetro). También muestra un índice de adyacencia alto con los arroyos que drenan la zona sur del área de estudio (33.4 % del perímetro).

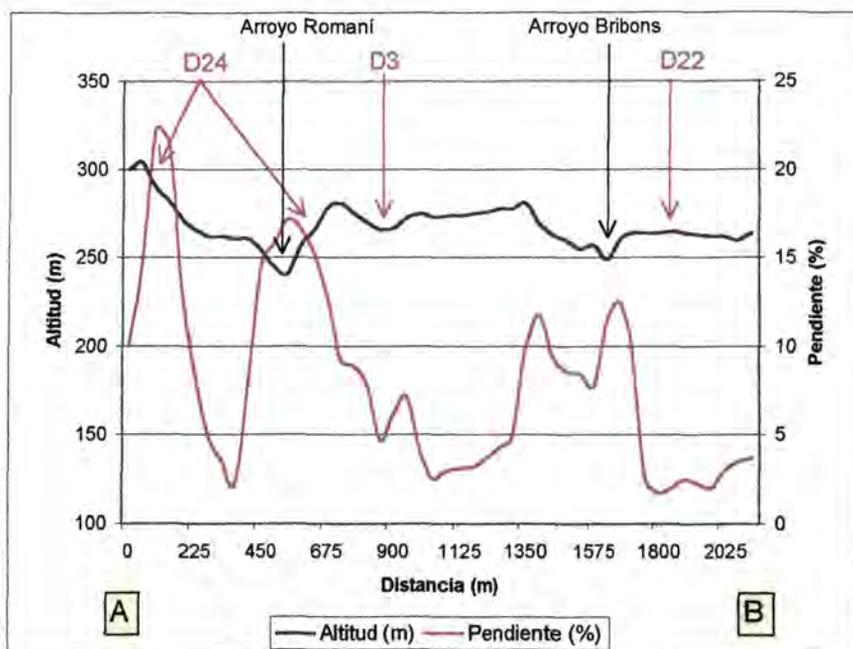


Figura 2.21. Perfil topográfico y de pendiente P-10.

D2. Vertientes.

Salvo el escarpe del nivel residual coincidente con la divisoria de las cuencas del río Foix y del Arroyo Romani (zona del Pudrol de la Granada), con una pendiente entre el 20-45%; y algunas vertientes moderadamente escarpadas asociadas a la incisión de la red de drenaje, 10-20% de pendiente, el resto de las vertientes de la unidad de paisaje son suaves o moderadas (1-10%). Todas ellas presentan una variabilidad de la pendiente baja, excepto las vertientes escarpadas. Esto pone de manifiesto la mayor simplicidad de las vertientes de esta unidad de paisaje en relación a las del área de vertientes y barrancos.

En estas zonas escarpadas (subunidad D24) afloran materiales miocenos de fase perideltaica. La parte superior del escarpe de la divisoria Foix-Romani está compuesta por detríticos terrigenos con gravas de origen aluvial de edad cuaternaria, que forman un horizonte petrocálcico en la parte superior.

El relieve interno de la subunidad varía entre 5 y 35 m, con valores medios de 10-15 m en sentido transversal a la dirección de la pendiente y 25-35 m en la dirección de la pendiente. La densidad de drenaje es moderada (1.7 km km^{-2}).

La subunidad D24 limita con unidades de vertiente moderada o fuertemente inclinadas (5-10%), donde también afloran calcilitas (subunidad D23). Esta geoforma presenta una distribución bimodal en el relieve interno, con amplitudes entre 5-15 m en sentido transversal y hasta más de 50 m en la dirección de la pendiente. El nivel inferior conecta con la red de drenaje principal del área, lo que hace que tenga un índice de adyacencia alto a áreas consideradas como barrancos (36.7 % del perímetro).

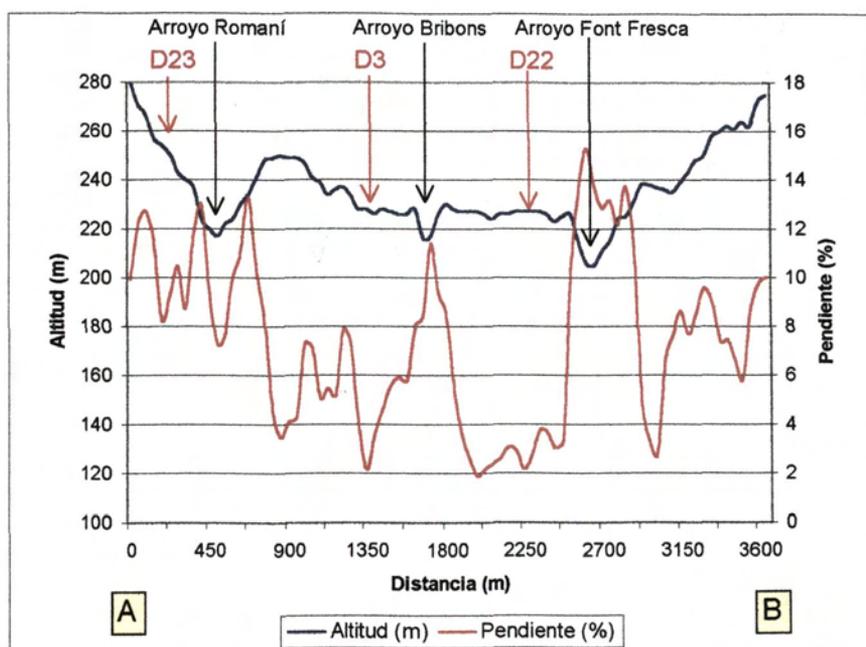


Figura 2.22. Perfil topográfico y de pendiente P-11.

Los materiales subyacentes son calcilitas o detríticos terrígenos aluvio-coluviales. Estas vertientes no son regulares, tienen un relieve ligeramente ondulado, donde se alternan pequeños lomos con zonas más deprimidas donde se concentra la escorrentía.

El resto de las vertientes son de pendiente suave o moderada (1-10 %). Se han clasificado como vertientes en glaciares y llanuras aluviales (subunidad D22); y vertientes de enlace entre niveles residuales inferiores y fondos (subunidad D21). Las primeras se caracterizan por ser formas rectilíneas que constituyen un nivel residual intermedio entre las plataformas del nivel de la Plana de les Estoses y los cauces actuales. Están asociadas a la red de drenaje actual, constituyendo grandes extensiones (2-3 km de longitud y 0.5-1 km de amplitud). Los materiales subyacentes son gravas calizas, generalmente no cementadas, que se alternan con materiales aluviales más finos. A una escala más detallada se aprecia el incipiente encajamiento de fondos de valle planos y cárcavas. Esto se pone de manifiesto en los valores medidos del relieve interno, con una distribución bimodal según dirección paralela a la red de drenaje (5-10 m) o dirección perpendicular (15-25 m). El índice de adyacencia a áreas consideradas como barrancos es muy alto (57.8 % del perímetro), ya que esta subunidad se

caracteriza por el encajamiento de la red de drenaje producido por un descenso del nivel de base general, producido posiblemente como consecuencia de la regresión marina a finales del Mioceno.

La subunidad D21, de escasa extensión, presenta las pendientes más suaves del área de estudio (1-5 %), con un bajo relieve interno medio (8 m), una rugosidad baja y una densidad de drenaje de 0.1 km km⁻²). Representa una vertiente de enlace entre niveles residuales inferiores y fondos.

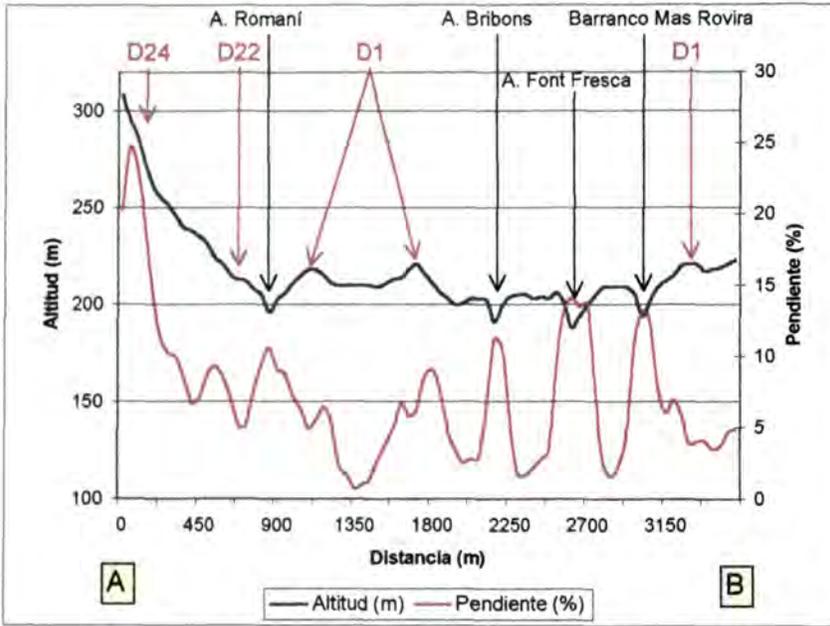


Figura 2.23. Perfil topográfico y de pendiente P-12.

D3. Fondos.

Están formados por valles planos de amplitudes entre 50-200 m y longitudes de hasta 4-5 km. Se encajan en las vertientes y niveles residuales. Presenta una pendiente media del 7.3 %, con pendientes longitudinales entre el 1-5 % y transversales entre el 5-15 %. En esta última dirección se presenta la mayor amplitud de relieve, 5-10 m, ya que se han incluido los segmentos inferiores de vertiente de las laderas cóncavas colindantes.

Actualmente, en algunos de estos fondos se ha observado el crecimiento de cárcavas, que avanzan desde la salida de los fondos a los barrancos que drenan el área.

2.3.3.5. Unidad de paisaje de niveles aluviales recientes

- Situación.

Esta unidad la constituyen los niveles aluviales asociados a los cauces principales que discurren por el área de estudio: río Anoia, río Riudevittles, riera de Can Aguilera, riera de Masquefa, riera de Rierusa y arroyo de l'Avernó.

- Litología y estructura geológica.

Materiales detríticos finos y gruesos de origen aluvial, de distinto origen según el área fuente: pizarras o rocas calizas. Estas formas están ligeramente buzadas hacia la Sierra Prelitoral, área origen de los cauces que drenan la Depresión del Penedès (excepto el Anoia que la atraviesa).

- Red de drenaje.

La densidad de drenaje de esta unidad varía entre 0.8 y 5.3 km km⁻². Esta última cifra es alta y no se corresponde en este caso con una alta disección de la unidad, ya que para el cálculo se han incluido las líneas de drenaje de los afluentes a la red principal que atraviesan la unidad hasta conectar con los cauces. Sí es destacable la disección de algunas terrazas, particularmente del Anoia y Riudevittles, por barrancos desarrollados a favor del potencial topográfico entre el nivel de los cauces actuales y el nivel de las terrazas del nivel 1º.

- Geoformas.

El relieve de la unidad es el de un valle aluvial con diferentes niveles de terraza, aunque modificado por la disección causada por el crecimiento de cárcavas y barrancos. También, los diferentes niveles de terraza suelen estar conectados por glacis formados por materiales coluviales, siendo a veces difícil su distinción (Figura 2.24).

Gallart (1980) distinguió 5 niveles aluviales en el valle del Anoia, siendo el nivel más antiguo (5º) el correspondiente al glacis que yace sobre los denominados *conglomerados del Riudevittles* y que se ha incluido en la unidad de pie de monte. Los niveles 3º y 4º no representan superficies cartografiadas a escala semidetallada. Están a alturas relativas de entre 65-90 m sobre el cauce del Anoia y se encuentran incluidos en las vertientes escarpadas de enlace entre el 5º y el 2º nivel.

El 2º nivel está bien conservado y forma amplios glacis, colgados unos 50 m sobre el Anoia. El 1º nivel está formado por glacis y terrazas muy bien conservados, con una altura relativa de 30 m. El nivel más bajo lo constituye la actual llanura aluvial del Anoia, originada por la tendencia del río a describir meandros.

Dado que en esta unidad de paisaje se han tenido que considerar asociaciones de formas, a veces a distinto nivel e incluso incluyendo los glacis de enlace, la interpretación de los valores medios de amplitud de relieve, pendientes y variabilidad espacial de la pendiente pueden llevar a una imagen errónea de estas unidades.



Figura 2.24. Vista del valle del río Anoia desde la Sierra del Bardoch. Se distingue claramente la llanura aluvial. Más difícil resulta la distinción de los diferentes niveles de terraza, que están conectados por vertientes de enlace formadas por materiales de origen coluvial.

Se han distinguido los siguientes tipos de geoformas:

- E1: Llanuras aluviales.
- E2: Asociación de llanuras aluviales y terrazas.
- E3: Terrazas y asociación de terrazas y glacis.

E1. Llanuras aluviales.

Esta subunidad incluye las llanuras aluviales de los ríos y rieras (Figura 2.25, Figura 2.26 y Figura 2.27), en las que el carácter meandriforme ha originado llanuras de una cierta anchura (alrededor de 400 m en el Riudeviltles y entre 500 y 1100 m en el Anoia).

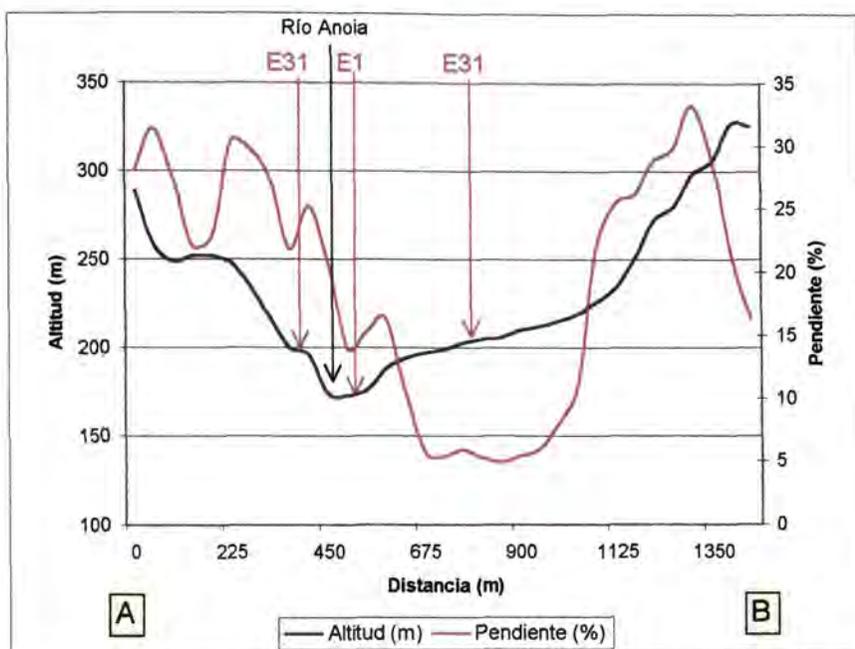


Figura 2.25. Perfil topográfico y de pendiente P-13.

El intervalo de pendientes más frecuente es entre 1-10 %, ya que quedan incluidos algunos glacis de enlace con terrazas de nivel superior. La clase de pendiente mayoritaria en dirección paralela a la red de drenaje es del 1-5%.

E2. Asociación de llanuras aluviales y terrazas.

En esta subunidad se incluyen la llanura aluvial y las terrazas inferiores degradadas de la riera de Can Aguilera (Figura 2.27). Estas terrazas tan solo tienen un desnivel de unos 15 m sobre la riera y están conectadas por un glacis, formado por materiales coluviales, con la llanura aluvial. La clase de pendiente mayoritaria es del 5-10 %, con incremento en los glacis de enlace hasta el 10-20 %.

E3. Terrazas y asociación de terrazas y glacis.

Se incluyen los niveles de terrazas 1º (subunidad E31) y 2º (subunidad E32) descritos anteriormente. Estos niveles se han observado principalmente en los valles del Anoia y Riudevittles. Ambos niveles son cartografiables por separado a escala semidetallada. También se han considerado dentro del grupo E3 los glacis de enlace (subunidad E33), cuya pendiente es del 5-15 %.

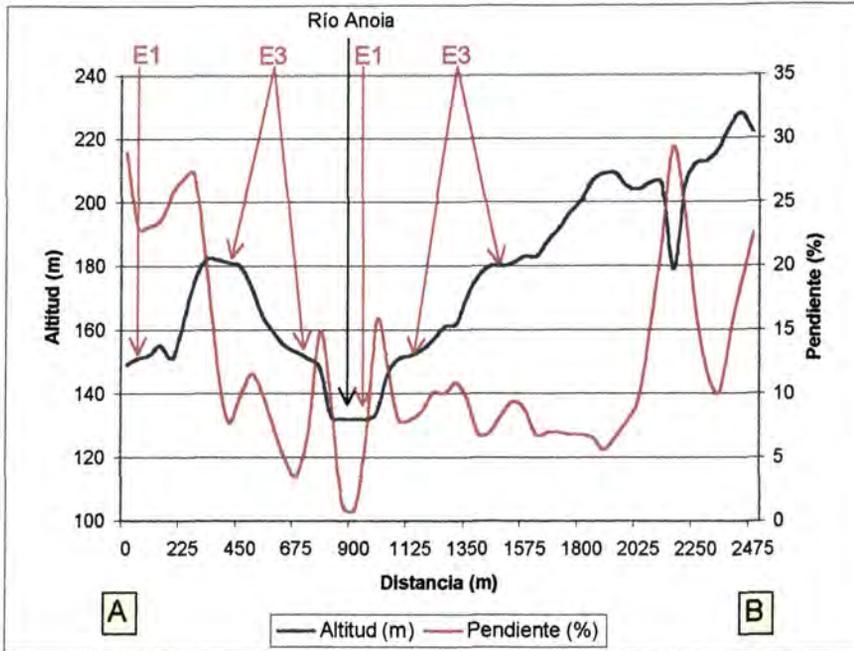


Figura 2.26. Perfil topográfico y de pendiente P-14.

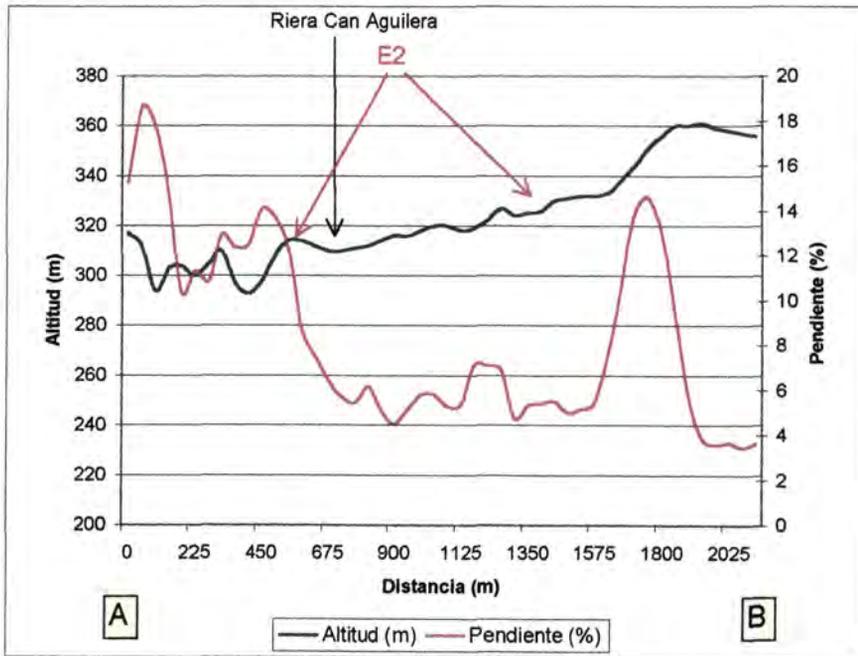


Figura 2.27. Perfil topográfico y de pendiente P-15.

2.4. Conclusiones

La presente investigación sobre el análisis de las geoformas del Alt Penedès – Anoia pone de manifiesto diversos hechos importantes que condicionan los procesos superficiales de desarrollo de los suelos y de la erosión:

- El paisaje del área de estudio es de tipo denudacional, con predominio de geoformas relacionadas con la erosión y la incisión de la red de drenaje en los materiales neógenos y cuaternarios que rellenan la Depresión del Penedès.
- La distribución y dinámica de las unidades estructurales, así como los diferentes patrones observados de denudación e incisión de la red de drenaje, están relacionados con los movimientos tectónicos producidos desde el Oligoceno, que son los que han condicionado la sedimentación detrítica continental en la Depresión del Penedès.
- La regresión marina producida a finales del Mioceno se apunta como la causa del descenso abrupto del nivel de base local, que marca el principio de la incisión de la red de drenaje en los materiales incoherentes que rellenan la depresión.
- La mayor incisión de la red de drenaje observada en la zona al norte del río Anoia se explica por la mayor altitud relativa del labio levantado de la falla Capellades-Vallcarca con respecto al nivel de base local y por la mayor incoherencia de los materiales que rellenan esta parte de la fosa tectónica. Esta mayor incisión ha producido un modelado del paisaje que ha dado lugar a vertientes complejas y barrancos, que conforman actualmente el relieve característico de esta región.
- Todas las formas topográficamente más estables, como las plataformas residuales, superficies llanas de pie de monte al norte del Anoia, terrazas de la unidad de niveles aluviales recientes, glacis y antiguas llanuras aluviales de la unidad de relieve suavemente ondulado y fondos de esta última unidad de paisaje, presentan incisión de cárcavas y barrancos. Este hecho pone de manifiesto la dinámica actual del paisaje, tendente al encajamiento de la red de drenaje y a la denudación de los suelos. Este encajamiento es mayor en el área al norte del Anoia y en las vertientes de unidades de plataformas residuales, donde la altitud relativa con respecto al nivel de base local es mayor.
- Las geoformas del área de vertientes y barrancos, las vertientes de las plataformas residuales y las superficies llanas del pie de monte al norte del Anoia tienen en común valores elevados del índice de adyacencia o vecindad a barrancos y badlands: entre el 30-53% del perímetro de dichas geoformas es compartido con barrancos y badlands. Esto implica un mayor potencial para la erosión por el retroceso de las paredes de los barrancos en dichas unidades respecto a otras del área de estudio. El desarrollo de los barrancos se verá más limitado en el área de pie de monte al sur del Anoia por el control estructural que ejercen los conglomerados neógenos que rellenan esta parte de la depresión.
- Actualmente, el hecho que parece determinar la aceleración de los procesos erosivos en el área de estudio es el sistema de usos de la tierra. El cultivo predominante de viñedos

con escasas y/o poco eficientes medidas de conservación de suelos y medidas de manejo del agua de escorrentía, favorece la escorrentía superficial, que produce erosión laminar y por arroyaderos. La concentración de la escorrentía se ve favorecida por la complejidad de las vertientes, con alternancia de formas convexas y cóncavas con pendientes de moderadas a fuertemente inclinadas, lo cual influye en el desarrollo de cárcavas y barrancos. Estos problemas se ponen especialmente de manifiesto en el área de vertientes y barrancos que, en general, es la que presenta mayores valores en los índices descriptivos relativos al potencial topográfico y del paisaje para la erosión (grado de pendiente, densidad de drenaje, relieve interno e índice de adyacencia a barrancos).

Sobre la metodología utilizada para el análisis morfométrico y morfográfico de las geoformas se puede concluir:

- El análisis de las geoformas del área de estudio se ha realizado a una escala semidetallada, útil para un análisis de caracterización a nivel regional. A este nivel algunas de las geoformas consideradas son asociaciones de formas del terreno más elementales que se pueden distinguir a una escala más detallada. El sistema jerárquico de clasificación de geoformas utilizada ha permitido representar la complejidad del terreno a escala semidetallada como asociaciones de geoformas más elementales.
- La utilización de una metodología basada en el uso de sistemas de información geográfica ha permitido automatizar la obtención de las variables topográficas e hidrográficas implicadas en el análisis. La interpretación de los datos obtenidos, sin embargo, debe hacerse por métodos empíricos y deductivos, dependientes del conocimiento del intérprete principalmente sobre geología del área de estudio y génesis y dinámica del paisaje. El proceso metodológico adoptado mediante el uso de sistemas de información geográfica es extrapolable, no obstante, a otras áreas de estudio.

2.5. Referencias bibliográficas

Agbu, P.A., Ojanuga, A.G. y Olson, K.R., 1989, Soil – landscape relationships in the Sokoto – Rima basin, Nigeria. *Soil Science*, 148: 132-139.

Cabrera, L., 1981, Influencia de la tectónica en la sedimentación continental de la cuenca del Vallès – Penedès (provincia de Barcelona, España), durante el Mioceno inferior. *Acta Geológica Hispánica*, 16: 165-171.

Casanovas, M.L., Calzada, S. y Santafe, J.V., 1972, Contribución al estudio del Mioceno del Penedès (sector Gelida). *Acta Geológica Hispánica*, 7: 143-148.

Dikau, R., 1989, The application of a digital relief model to landform analysis in geomorphology. In: *Three dimensional applications in GIS*, J. Rappner (editor), Taylor & Francis, London, pp 51-77.

Felicísimo, A.M., 1994, *Modelos digitales del terreno. Introducción y aplicaciones en las ciencias ambientales*. Pentalfa Ediciones. Oviedo.

Foch, R., 1986, *Història natural dels Països Catalans*. Fundació Enciclopedia Catalana. Barcelona.

Gallart, F., 1980, *Estudi geomorfològic del Penedès, sector Anoia i Riedevitlles*. Tesis doctoral, Universidad de Barcelona.

Gallart, F., 1981, Neógeno superior y Cuaternario del Penedès (Catalunya, España). *Acta Geológica Hispánica*, 16: 151-157.

Gaucher, G., 1981, *Les facteurs de la Pédogénèse*. G. Lelotte, Dison, 730 pp.

Gerrard, A.J., 1981, The catena concept. In: *Soils and landforms. An integration of geomorphology and pedology*, G. Allen and Unwin (editores), pp 61-82.

Gregory, K.J. y Gardiner, V., 1975, Drainage density and climate. *Z. Geomorph. N.F.*, 19: 287-298.

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.

Horton, R.E., 1945, Erosional developments of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geological Society of America Bulletin*, 56: 275-370.

IGME, 1973, *Mapa Geológico de España, E. 1:50000, Vilafranca del Panadés. Hoja 419 (35-16)*. Servicio de Publicaciones del Ministerio de Industria. Madrid.

IGME, 1975a, *Mapa Geológico de España, E. 1:50000, Igualada. Hoja 391*. Servicio de Publicaciones del Ministerio de Industria. Madrid.

IGME, 1975b, *Mapa Geológico de España, E. 1:50000, Sabadell. Hoja 392*. Servicio de Publicaciones del Ministerio de Industria. Madrid.

IGME, 1975c, *Mapa Geológico de España, E. 1:50000, Hospitalet de Llobregat. Hoja 420*. Servicio de Publicaciones del Ministerio de Industria. Madrid.

Kreznor, W.R., Olson, K.R., Banwart, W.L. y Johnson, D.L., 1989, Soil, landscape, and erosion relationships in a Northwest Illinois watershed. *Soil Science Society America Journal*, 53: 1763-1771.

Martínez-Casasnovas, J.A., 1992, Mapa detallado de suelos de "Les Baixes Garrigues". III *Curso de Clasificación, Cartografía y Evaluación de Suelos*. Documentación del curso (difusión restringida), DMCS, Lleida.

Meijerink, A.M.J., 1988, Data acquisition and data capture through terrain mapping units. *ITC Journal* 1988-1: 23-44.

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, chapter 5, pp. 64-81.

Mitasova, H., Hofierka, J., Zlocha, M. y Iverson, L.R., 1996, Modelling topographic potential for erosion and deposition using GIS. *International Journal of Geographical Information Systems*, 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., Grayson, R.B. y Landson, A.R., 1991, Digital terrain modelling: A review of hydrological, geomorphological, and biological applications. *Hydrological Processes*, 5: 3-30.

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.

Nizeyimana, E. y Bicki, T., 1992, Soil and soil – landscape relationships in the north central region of Rwanda, East-Central Africa. *Soil Science*, 153: 225-236.

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.

Roca, J., Boixadera, J. y Herrero, C., 1990, Relaciones geomorfología – suelos en el Pla d'Urgell. *I Reunión Nacional de Geomorfología*, pp 709-719.

Sheng, T.C., 1990, *Watershed management field manual*. FAO Conservation Guide 13/6. FAO, Roma.

Soil Conservation Service, 1981, *Soil Survey Manual, 430-V. Issue 1*. Soil Conservation Service - U.S. Department of Agriculture. Washington, D.C.

Stocking, M.A., 1972, Relief analysis and soil erosion in Thodesia using multi-variate techniques. *Z. Geomorph. N.F.*, 16: 432-443.

Stolt, M.H., Baker, J.C. y Simpson, T.W., 1993a, Soil – landscape relationships in Virginia: I. Soil variability and parent material uniformity. *Soil Science Society America Journal*, 57: 414-421.

- Stolt, M.H., Baker, J.C. y Simpson, T.W., 1993b.** Soil – landscape relationships in Virginia: II. Reconstruction analysis and soil genesis. *Soil Science Society America Journal*, 57: 422-428.
- Swanson, D.K., 1990a,** Soil landform units for soil survey. *Soil Survey Horizons*, 31: 17-21.
- Valenzuela, C.R., 1988,** Soils geography. *ITC Journal* 1988-1: 45-50.
- Van Ghelue, P. y Molle, M. van, 1990,** Geomorphological mapping in the delineation of erosion risk zones in the Río Guadalhorce catchment (Spain). *Soil Technology*, 3: 327-342.
- Wambeke, A. van y Forbes, T. (editores), 1985,** *Guidelines for using Soil Taxonomy in the names of Soil Map Units*. SMSS Tech Monograph num. 10.
- Walker, P.H., 1989,** Contributions to the understanding of soil and landscape relationships. *Australian Journal of Soil Research*, 27: 589-605.
- Williams, A.R. y Morgan, R.P.C., 1976,** Geomorphological mapping applied to erosion evaluation. *Journal of Soil and Water Conservation*. 31: 164-168.
- Zevenbergen, L.W. y Thorne, C.R., 1987,** Quantitative analysis of land surface topography. *Earth Surface Processes and Landforms*, 12: 47-56.
- Zinck, J.A., 1988,** *Physiography and Soils. Soil Survey Courses*. Subject matter K6. ITC Lecture Notes SOL-41.
- Zinck, J.A. y Valenzuela, C.R., 1990,** Soil geographic database: structure and application examples. *ITC Journal* 1190-3: 270-294.

3. Suelos del Alt Penedès – Anoia: Análisis de las relaciones suelo-paisaje y Sistema de Información de Suelos (SIS)

Tras la revisión del sistema de clasificación de suelos Soil Taxonomy, presentada en el XVI Congreso Mundial de la Ciencia del Suelo, Montpellier, Francia, 20 – 26 de agosto de 1998, la denominación de algunos de las clases de suelos descritas en la presente tesis ha cambiado. La siguiente tabla muestra la correspondencia entre la denominación del sistema de clasificación utilizado (SSS 1994)¹ y el de la nueva revisión (SSS 1998)², en las categorías que existen diferencias.

Clases de suelos (SSS 1994)	Clases de suelos (SSS 1998)
Xerochrept Petrocálcico	Calcixerept Petrocálcico
Xerochrept Fluvéntico	Haploxerept Fluvéntico
Xerochrept Calcixeróllico	Calcixerept Típico
Xerochrept Típico	Haploxerept Típico
Xerochrept Acuico	Haploxerept Acuico

¹ Soil Survey Staff, 1994, *Keys to Soil Taxonomy, 6th edition*. U.S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service, Washington, D.C.

² Soil survey Staff, 1998, *Keys to Soil Taxonomy, 8th edition*. U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, Washington, D.C.

3.1. Introducción

Las actuaciones sobre el territorio, particularmente en áreas agrícolas, pueden tener repercusiones tanto económicas como medioambientales sobre los recursos naturales. Las decisiones sobre dichas actuaciones requieren información, en concreto información sobre los suelos que forman dicho territorio y su comportamiento frente a las actuaciones sobre ellos (Porta *et al.* 1994). La no consideración de esta información puede desencadenar, entre otros, procesos de erosión, el deterioro de las propiedades físicas o la disminución de la fertilidad y, a medio o largo plazo, conducir a la degradación del terreno.

La información de suelos se ha venido tradicionalmente plasmando en mapas de suelos y, en la actualidad, en los denominados sistemas de información de suelos (SIS) (Boixadera y Porta 1991, Burrough 1991, Burrough 1993, Fernández y Rusinkiewicz 1993, Porta *et al.* 1994, Boixadera e Ibañez 1996, Frigolé 1997). Estos sistemas aprovechan las utilidades de un sistema de información geográfica (SIG), permiten un rápido acceso a la información y más eficientes capacidades de análisis integrado de esta información. El impacto de estas nuevas tecnologías ha favorecido el cambio de enfoques más descriptivos a enfoques de análisis más cuantitativos, ya que se permite el manejo y análisis de la gran cantidad de datos descriptivos y analíticos que genera cualquier prospección de suelos, pudiendo también llevar a cabo análisis de tipo espacial.

Tradicionalmente, el enfoque en cartografía de suelos ha sido estudiar la variación de los suelos en el paisaje como resultado de la acción de los factores y procesos formadores. Son numerosos los trabajos realizados por diversos autores (Valenzuela 1988, Agbu *et al.* 1989, Boixadera *et al.* 1989, Kreznor *et al.* 1989, Walker 1989, Roca *et al.* 1990, Swanson 1990, Zinck y Valenzuela 1990, Martínez-Casasnovas 1992, Nizenyumana y Bick 1992, Stolt *et al.* 1993a, Stolt *et al.* 1993b). El estudio de la relación entre los suelos y el paisaje produce como resultado el denominado modelo de suelo-paisaje, que servirá para predecir propiedades de los suelos a partir de características observables en la superficie del terreno, establecer los límites de las unidades de suelos y su composición y proporcionar información de cara al uso y manejo del suelo (Zinck y Valenzuela 1990, Hewitt 1994, Porta *et al.* 1994).

Uno de los principales problemas, reconocidos en muchas cartografías de suelos basadas en la modelización de las relaciones suelo-paisaje, es la falta de explicación del modelo que el cartógrafo de suelos suele elaborar en su mente a partir del razonamiento empírico, basado en las observaciones de campo, y del razonamiento deductivo a partir de los conocimientos sobre la génesis del paisaje y de los suelos (Hewitt 1994). Esto hace que los modelos no sean reproducibles por alguien diferente al cartógrafo de suelos, y que no se puedan establecer conexiones entre los diferentes modelos de suelo-paisaje que son reconocidos en un área a diferentes niveles de detalle.

Otro de los aspectos relativos al estudio de las relaciones suelo-paisaje y su aplicación en los actuales sistemas de información de suelos es la organización de la información. La aparición de las bases de datos digitales y los SIG ha supuesto una revolución respecto a la cartografía convencional, pero impone nuevos condicionantes en cuanto a la organización de la información en una base de datos espacial. En este sentido, las relaciones suelo-paisaje también han sido reconocidas como un concepto fundamental en el diseño de la

estructura lógica de las bases de datos de suelos (Valenzuela 1988, Zinck y Valenzuela 1990, Fernández y Rusinkiewicz 1993).

En el Alt Penedès – Anoia, diversos estudios previos a la presente investigación han puesto de manifiesto la necesidad de disponer de información de suelos (Boixadera *et al.* 1990, Boixadera y Porta 1995, Poch y Porta 1995, Poch *et al.* 1996). Por una parte, la ocurrencia de intensos procesos de erosión hídrica en el área de estudio condiciona la sostenibilidad de las formas de cultivo actual del uso agrícola predominante: la viña. Ello exige información de suelos a escala detallada o semidetallada para priorizar las áreas de actuación ante la pérdida progresiva del recurso suelo. Por otra parte, la toma de decisiones que implica la implementación de medidas de conservación de suelos y aguas a nivel de parcela, o la gran transformación de las parcelas (movimientos de tierra y nivelaciones) que conllevan las nuevas plantaciones de viña, exige información de suelos a nivel detallado o muy detallado. Esta información, a diferentes escalas, vería incrementada su utilidad en un SIS, que permita al usuario o gestor de la información un rápido acceso, análisis y posibilidad de actualización.

Hasta el momento presente, la información de suelos existente, referente al Alt Penedès – Anoia, está recogida en varios estudios a nivel de parcela o de finca (Boixadera 1983, Porta *et al.* 1989, López 1994, Cervera 1994). Esta información constituye un valioso referente sobre algunos de los tipos de suelos predominantes en el área de estudio y sobre las prácticas de cultivo, manejo de los suelos y de conservación para un uso sostenible. Sin embargo, está a una escala muy detallada para poder ser usada en estudios de planificación a nivel regional y, desde el punto de vista de la superficie cartografiada, solamente cubre una pequeña parte del territorio.

Dada la importancia de la necesidad de la información de suelos en el Alt Penedès – Anoia, el presente trabajo de investigación tiene como objeto el análisis de las relaciones suelo-paisaje a escala regional, como metodología que ha de conducir a la cartografía a escala semidetallada (1:50.000) y a la caracterización de los procesos formadores y propiedades de los suelos del área de estudio.

La investigación se aborda a partir del establecimiento del modelo de suelo-paisaje en diferentes áreas modelo. Este modelo proporciona un conocimiento del patrón de distribución de los suelos en las unidades de relieve consideradas (geoformas), identificando las relaciones entre suelos, materiales originarios, pendiente, posición en la geoforma y procesos erosivos. El modelo de suelo-paisaje se aplica posteriormente, por medio de la cartografía de geoformas, con el objeto de plasmar la distribución espacial de las clases de suelos identificadas en todo el área de estudio.

El modelo de las relaciones suelo-paisaje es también usado como base lógica para el diseño del modelo conceptual de la base de datos espacial de suelos del área de estudio, que constituye el precursor del sistema de información de suelos. Este sistema ha de permitir disponer de una información de suelos a escala semidetallada de toda el área de estudio, almacenada de forma estructurada y eficiente, que podrá ser utilizada tanto en el análisis de procesos formadores como en el análisis relativo a la planificación de los usos actuales o futuros a nivel regional.

El hecho de utilizar sistemas de clasificación jerárquicos, tanto en la delineación y clasificación de las geoformas como en la clasificación de los suelos (SSS 1975, Zinck 1988, SSS 1994), permitirá que el modelo de suelo-paisaje establecido a nivel semidetallado pueda generalizarse para obtener cartografías a nivel más generalizado, o pueda especializarse para apoyar cartografías a nivel más detallado.

3.2. Materiales y métodos

El proceso metodológico general llevado a cabo para el establecimiento del modelo de suelo-paisaje, diseño e implementación del sistema de información de suelos con información cartográfica a nivel semidetallado, y el análisis de los procesos formadores de los suelos del área de estudio se esquematiza en la Figura 3.1.

3.2.1. Establecimiento del modelo de suelo-paisaje

El modelo de suelo-paisaje considerado en la presente investigación es un modelo empírico-deductivo, basado en el análisis de las geoformas, observaciones de campo y razonamiento deductivo a partir de antecedentes sobre procesos de génesis del paisaje y de suelos.

La metodología para su definición fue:

- a) Análisis y delineación de geoformas, realizado en base a los factores de orden geomorfológico considerados en la distinción de estas unidades de relieve (capítulo 2): litología de los materiales originarios, área fuente de los materiales, granulometría, procesos erosivos y/o deposicionales que intervienen o han intervenido en el modelado de las formas, y organización del drenaje. Se utilizaron fotografías aéreas de escala aproximada 1:30.000, adquiridas por el Instituto Geográfico Nacional e Institut Cartogràfic de Catalunya en los años 1984 y 1986.
- b) Establecimiento de áreas modelo donde analizar las relaciones suelo-paisaje en base a características fotointerpretativas relacionadas con la diferenciación de geoformas. Las áreas modelo consideradas fueron (Figura 3.2):
 - **Áreas modelo de la Unidad de Pie de monte. Sector Piera:** Suelos desarrollados a partir de materiales detríticos con gravas de rocas metamórficas. **Sector Torrelavit:** Suelos desarrollados a partir de materiales detríticos con gravas calizas
 - **Áreas modelo de la Unidad de Vertientes y barrancos. Sector Masquefa:** Suelos desarrollados a partir de calcilutitas, areniscas y conglomerados sin cementar de origen continental. **Sector Sant Llorenç d'Hortons - Gelida:** Suelos desarrollados a partir de calcilutitas y areniscas de origen marino.
 - **Área modelo de la Unidad de Relieve suavemente ondulado.** Suelos desarrollados a partir de calcilutitas, areniscas y conglomerados sin cementar de origen continental y marino.
 - **Áreas modelo de la Unidad de Relieves aluviales recientes. Sector Monistrol d'Anoia:** Suelos desarrollados a partir de materiales detríticos finos y con calizas depositadas por el río Anoia. **Sector Riudeviltles:** Suelos desarrollados a partir de materiales detríticos finos y con gravas calizas depositados por el río Riudeviltles.

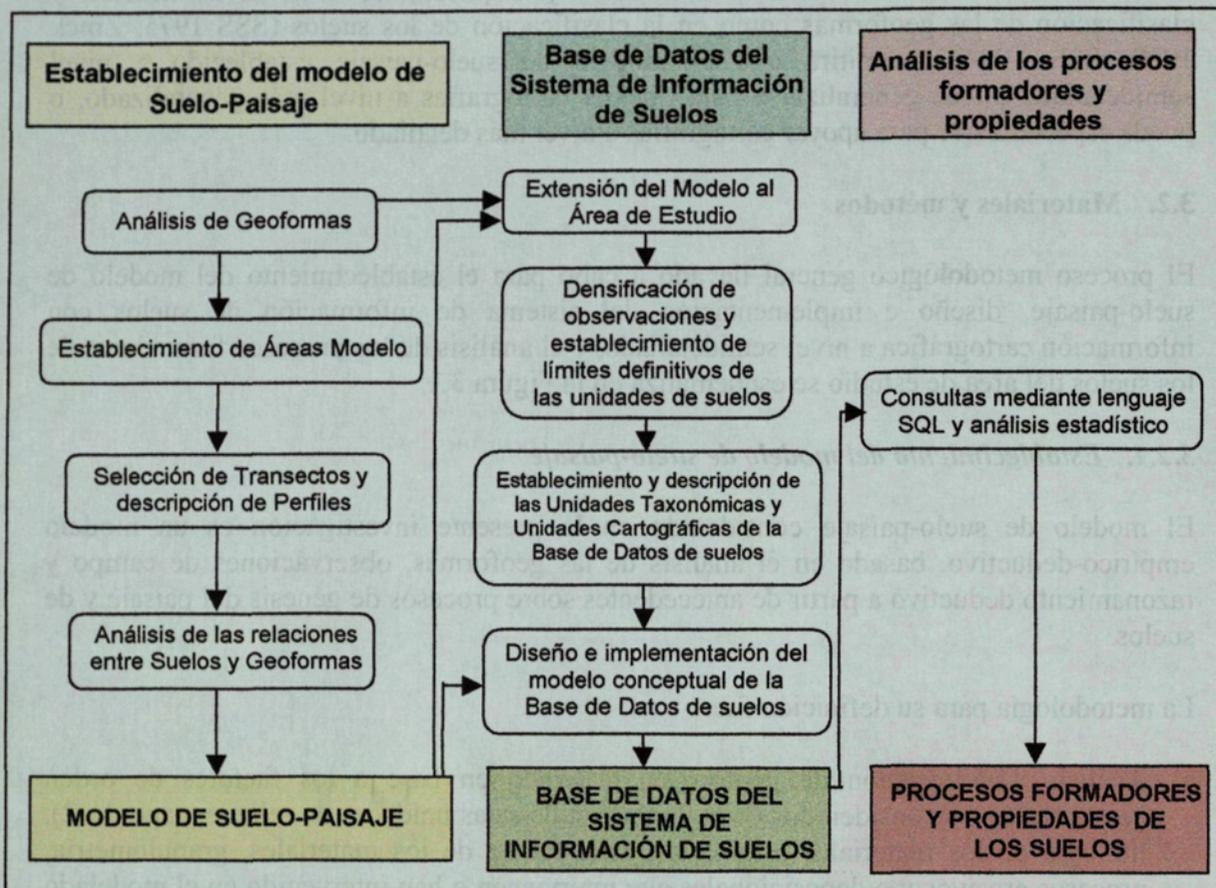


Figura 3.1. Esquema del proceso metodológico llevado a cabo para el estudio de las relaciones suelo-paisaje, diseño e implementación del sistema de información de suelos y estudio de los procesos formadores y propiedades de los suelos del Alt Penedès –Anoia.

- c) Selección de transectos y puntos de muestreo de suelos en localizaciones representativas de las geoformas a identificadas, mediante fotointerpretación. En total fueron considerados 88 puntos de muestreo donde se describieron 88 perfiles de suelos mediante la apertura de calicatas. Estos perfiles fueron distribuidos en las 5 áreas modelo consideradas (Figura 3.2).
- d) Descripción y caracterización de los suelos. Los perfiles se describieron según los sistemas SINEDARES (C.B.D.S.A. 1983) y CatSIS (Boixadera *et al.* 1989a). La denominación genética de horizontes se realizó según la nomenclatura propuesta por Herrero *et al.* (1993). La clasificación taxonómica se hizo según el sistema Soil Taxonomy (SSS 1975 y 1996) y el sistema utilizado para la leyenda del mapa mundial de suelos de FAO-Unesco (FAO 1990).

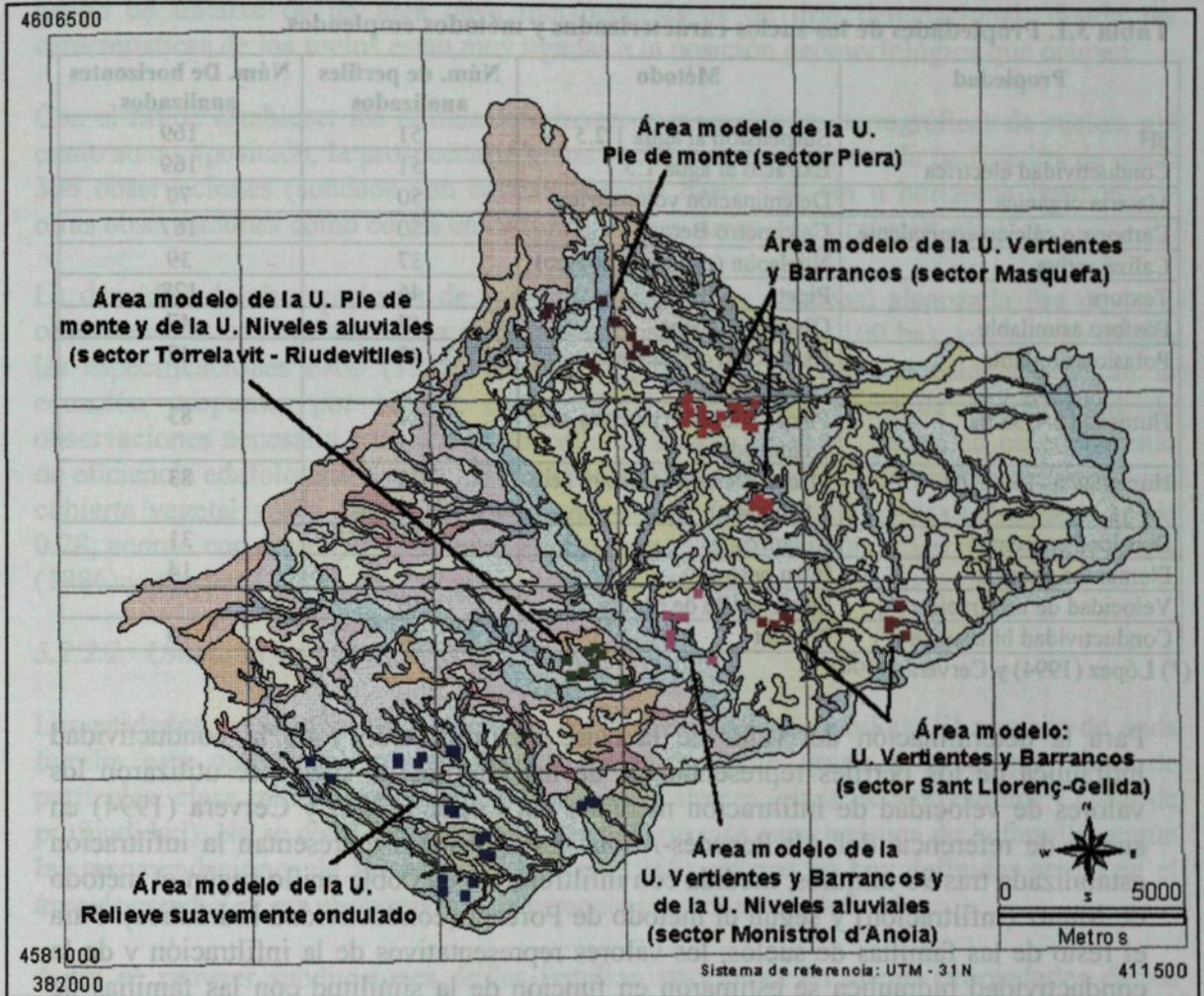


Figura 3.2. Áreas modelo para el análisis de las relaciones suelo-paisaje con la localización de los perfiles estudiados.

El nivel de detalle para la clasificación taxonómica según Soil Taxonomy, sistema utilizado como de referencia, fue el de familia, nivel adecuado para la ejecución de estudios cartográficos edafológicos semidetallados (Roquero y Porta 1986).

De los 88 perfiles estudiados, 52 se caracterizaron mediante análisis físicos y/o químicos según se detalla en la Tabla 3.1. Los métodos analíticos seguidos fueron los aprobados por los grupos de Trabajo de Suelos y Aguas de la Comisión de Métodos Oficiales de Análisis (M.A.P.A. 1986, Porta *et al.* 1986). Los objetivos de esta caracterización físico-química fueron: posibilitar la clasificación de los suelos según los criterios morfométricos que exige Soil Taxonomy y determinar propiedades relacionadas con los procesos formadores de los suelos y en particular la erosión, así como también las propiedades relacionadas con la fertilidad de los suelos.

Tabla 3.1. Propiedades de los suelos caracterizadas y métodos empleados.

Propiedad	Método	Núm. de perfiles analizados	Núm. De horizontes analizados
pH	Suspensión al agua 1:2.5	51	169
Conductividad eléctrica	Extracto al agua 1:5	51	169
Materia orgánica	Deteminación volumétrica	50	70
Carbonato cálcico equivalente	Calcímetro Bernad	50	167
Caliza activa	Nijelsohn (oxalato amónico)	37	39
Textura	Pipeta	46	128
Fósforo asimilable	Olsen-Watanabe	47	47
Potasio asimilable	Extracción con acetato amónico pH 7.0	47	47
Humedad a -33Kpa	Placas Richard (muestra seca y tamizada)	24	83
Humedad a -1500Kpa	Placas Richard (muestra seca y tamizada)	24	83
Densidad aparente	Cilindros	11	31
Elementos gruesos	% en peso	4	14
Velocidad de infiltración (*)	Doble anillo de Muntz	10	-
Conductividad hidráulica (*)	Porchet	10	10

(*) López (1994) y Cervera (1994).

Para la determinación del valor de la clase de infiltración y de la conductividad hidráulica de los perfiles representativos de las familias de suelos se utilizaron los valores de velocidad de infiltración medidos por López (1994) y Cervera (1994) en suelos de referencia del Alt Penedès-Anoia. Estos valores representan la infiltración estabilizada tras 90 minutos, medida con infiltrómetro de doble anillo según el método de Muntz (infiltración) y según el método de Porchet (conductividad hidráulica). Para el resto de las familias de suelos, los valores representativos de la infiltración y de la conductividad hidráulica se estimaron en función de la similitud con las familias de referencia en relación a: familia de suelos y en particular la clase de tamaño de partículas de la familia, fase de textura del horizonte superficial, y profundidad efectiva.

- e) Análisis de las relaciones entre suelos y geoformas, en base a razonamiento de tipo empírico-deductivo. El resultado de este análisis condujo al establecimiento del modelo de suelo-paisaje en cada una de las áreas modelo consideradas, que fue representado en forma de una tabla compuesta por los 4 niveles categóricos inferiores del sistema de clasificación de geoformas considerado (Zinck 1988) y las clases de suelos predominantes, clasificados a nivel de familia (SSS 1975, SSS 1994).

3.2.2. Sistema de Información de Suelos

3.2.2.1. Adquisición de la información

Con la finalidad de poder llegar a representar los suelos mediante un mapa semidetallado, escala 1:50.000, el modelo de suelo-paisaje desarrollado en las áreas modelo fue extendido a toda el área de estudio por medio de la cartografía de geoformas. La consideración de la cartografía en base al establecimiento de las relaciones suelo-paisaje se justifica por el

hecho de tratarse de un área cuya morfogénesis es de tipo denudacional, donde las características de los suelos están muy ligadas a la posición geomorfológica que ocupan.

Con el fin de establecer los límites definitivos de las unidades cartográficas de suelos, así como su composición, la prospección de los suelos se completó con la realización de otras 306 observaciones (sondeos con barrena manual hasta 120 cm u horizonte limitante, y otras observaciones como cortes en caminos, zanjas, áreas de extracción, etc.).

La densidad de observaciones de suelos (calicatas más sondeos) alcanzada fue de 0.32 observaciones por cm^{-2} de mapa (1.31 observaciones por cada 100 ha), valor que cumple las especificaciones FAO (1979) y que es ligeramente superior al calculado según la ecuación propuesta por Nieves *et al.* (1985) para el cálculo de la densidad de observaciones necesaria para una cartografía de escala 1:50000. (Se aplicó un coeficiente de eficiencia edafológica $K = 15$, por tratarse de un terreno ondulado mayoritariamente sin cubierta vegetal y con apoyo de foteointerpretación). La relación calicatas/sondeos es de 0.28, acorde con las especificaciones de Boulaine (1980) aceptadas por Roquero y Porta (1986) y Aguilar (1989).

3.2.2.2. Unidades taxonómicas

Las unidades taxonómicas consideradas fueron las fases de familias. El nombre de cada familia está constituido por su nombre genérico (gran grupo y subgrupo, clase de partículas, clase mineralógica, clase de reacción calcárea, clase de temperatura y clase de profundidad). No se consideró el nombre de la serie más característica de la familia, según las recomendaciones de Wambeke y Forbes (1985), ya que no hay definidas series en el área de estudio, ni era el objetivo de la presente investigación definir las.

A fin de proveer subdivisiones de las familias, para tener en cuenta propiedades de los suelos con incidencia importante en el manejo, se definieron fases de textura del horizonte superficial (0-30 cm) y fases de profundidad del suelo cuando existe alguna limitación por capas limitantes antes de los 120 cm.

3.2.2.3. Unidades cartográficas

Las unidades cartográficas empleadas, según los criterios del SCS-USDA (Wambeke y Forbes (1985) fueron: consociaciones, asociaciones y complejos de fases de familias, y áreas misceláneas.

Las áreas misceláneas consideradas fueron: áreas urbanas e industriales, áreas de extracción de áridos, badlands y barrancos. Las áreas de badlands incluyen tierras, disectadas por numerosas cárcavas. Pueden contener algunas inclusiones de suelos identificables donde se desarrolla vegetación arbustiva o arbórea. Las áreas de barrancos consisten en áreas donde la erosión ha producido formas de incisión en U o V. Sus paredes son fuertemente inclinadas o escarpadas, sometidas en muchos casos a procesos como movimientos de masa. En estas paredes se incluyen suelos identificables, donde se desarrolla vegetación arbustiva o arbórea, en mayor cantidad que en los badlands. Sin embargo fueron consideradas como áreas misceláneas por tratarse de áreas marginales, sin

interés agrícola por su excesiva pendiente y por los procesos erosivos a las que están sometidas.

El esfuerzo de campo se dirigió a intentar lograr el máximo número de consociaciones aunque, tratándose de una cartografía semidetallada, abundan las asociaciones y complejos de familias.

La diferenciación de las unidades cartográficas se hizo en base a los siguientes criterios: número de componentes taxonómicos en la unidad, grado de similitud entre componentes, escala a la que pueden ser cartografiados separadamente, presencia de los componentes en cada delineación, porcentaje de los componentes en cada delineación, porcentaje de inclusiones limitativas, regularidad de distribución de los componentes.

La información que contiene una unidad cartográfica es:

- Tipo de unidad: consociación, asociación, complejo o área miscelánea.
- Componentes taxonómicos. (Están representados por perfiles modales que recogen el intervalo de variación de los suelos pertenecientes al taxon considerado).
- Porcentaje de cada componente.
- Localización o patrón de distribución de los componentes en la unidad. (En el caso de asociaciones se puede distinguir diferentes componentes en distintas formas del relieve).
- Unidad de relieve o geoforma en la que está incluida la unidad cartográfica.
- Inclusiones, con indicación de si son o no limitativas. (Inclusiones limitativas son las que suponen restricciones significativamente más severas para el uso que el suelo dominante o afecta a requerimientos de manejo).

La delineación de los límites de los diferentes componentes espaciales de las unidades cartográficas (delineaciones) se basó en: a) geometría de las geoformas, b) en la comprobación de límites mediante sondeos y c) delineación de nuevos límites de suelos (dentro de las geoformas consideradas) a partir de las observaciones de los sondeos.

Como material de teledetección se utilizaron fotografías aéreas a escala aproximada 1:30.000, correspondientes al vuelo nacional del Instituto Geográfico Nacional e Institut Cartogràfic de Catalunya de los años 1984 y 1986. Como base cartográfica de campo se utilizaron ortofotomapas a escala 1:25.000 del Institut Cartogràfic de Catalunya. Las delineaciones de las unidades cartográficas del mapa de suelos se representaron a escala 1:50000, utilizando como base el ortofotograma de Cataluña del Institut Cartogràfic de Catalunya (hojas núm. 319, 320, 419, 420). Finalmente, estas delineaciones (componente espacial del mapa de suelos) se digitalizaron en el formato vectorial topológico, asociando a cada polígono o delineación el código de la unidad cartográfica. Este código es el que conecta el componente geométrico del mapa con el componente temático de las unidades cartográficas.

3.2.2.4. Leyenda del mapa de suelos

Como leyenda de la representación gráfica de la base de datos espacial de suelos (mapa de suelos), se empleó una leyenda con entrada geomorfológica como la usada para la expresión del modelo suelo-paisaje. La leyenda recoge 3 de los 4 niveles categóricos inferiores de este sistema: Grupo (paisaje), Subgrupo (relieve) y Familia (litología del material originario de los suelos). El último nivel, Subfamilia (forma del terreno), no se reflejó en la leyenda para evitar una mayor complejidad de esta, aunque esta información sí está registrada en la base de datos para los casos de consociaciones y asociaciones de suelos, donde es posible asociar a este nivel de detalle los suelos y la posición en la forma del terreno que ocupan.

3.2.2.5. Diseño de la base de datos del Sistema de Información de Suelos

Las bases de datos de suelos suelen reflejar la estructura de la información espacial de suelos (mapa de suelos) a partir de la cual fueron creados (Frigolé 1997).

En la presente investigación se propone un modelo conceptual de organización de la base de datos cuya entidad principal refleje las relaciones suelo-paisaje subyacentes en la información de suelos adquirida. La entidad que cumple estos requisitos es la unidad cartográfica, que contiene información sobre los componentes de suelos, de paisaje, y además tiene representación espacial a través de las delineaciones del mapa.

Para el registro de la información de suelos (geometría+atributos) en una base de datos espacial se eligió el modelo vectorial topológico (Molenaar 1993). Según este modelo de datos la información geométrica se compone de polígonos (delineaciones) de las unidades cartográficas. Se conecta a las tablas, que contienen los atributos descriptivos de las unidades cartográficas, por medio del identificador o código de la unidad cartográfica a la que pertenecen las delineaciones de suelos. Estas tablas contienen información sobre los componentes de las unidades cartográficas, descripciones de perfiles descritos en campo, perfiles modales y relaciones suelo-paisaje. La componente geométrica se almacena según un formato vectorial y la temática según el modelo de base de datos relacional.

Las tablas del modelo relacional deben cumplir una serie de normas y las relaciones entre entidades deben estar definidas por unas reglas, denominadas de la aplicación (Date 1990). Las bases y reglas consideradas para el diseño del modelo conceptual de la base de datos espacial de suelos se detallan en la Tabla 3.2. Estas reglas hacen referencia a las relaciones entre las diferentes entidades en las que se estructura la información generada durante la prospección de suelos: delineaciones del mapa, unidades cartográficas, unidades taxonómicas, unidades de paisaje y geoformas, perfiles descritos en campo y perfiles modales.

El modelo conceptual de base de datos de suelos se tradujo a un modelo físico vectorial topológico utilizando el programa Arcinfo (ESRI, versión PC3.5D). Este programa también sirvió para la edición de datos geométricos. La digitalización se realizó a partir de las delineaciones del mapa de suelos sobre el ortofotomapa E. 1:50.000, utilizando una tabla digitalizadora Calcomp Drawingboard III, (precisión ± 0.25 mm en unidades de mapa o ± 12.5 m en unidades de terreno). El sistema de georeferenciación elegido fue el UTM

huso 31N. Para la creación de tablas, entrada y gestión de datos temáticos se utilizó el gestor de bases de datos relacional Access (Microsoft, versión 7.0).

Tabla 3.2. Bases del diseño y reglas para la definición de la base de datos de suelos.

Bases del diseño	Reglas
<p>La delineación es la unidad espacial básica, y contiene información geométrica y temática. Se relaciona con la unidad cartográfica de suelos mediante una relación uno a muchos (1:M). La unidad cartográfica es el conjunto de delineaciones que tienen el mismo símbolo.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Una unidad cartográfica de suelos tiene al menos una delineación. ▪ Una delineación pertenece a una única unidad cartográfica de suelos.
<p>La unidad cartográfica de suelos es la entidad básica que contiene información sobre los componentes del suelo y paisaje.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Una unidad cartográfica está contenida en una geoforma. ▪ Una geoforma puede contener una o más unidades cartográficas de suelos. ▪ Una unidad cartográfica de suelos puede contener más de una clase de suelos, (representada por su perfil modal). ▪ Una clase de suelos puede estar presente en más de una unidad cartográfica.
<p>La unidad de paisaje es la entidad que agrupa a diferentes geoformas, que se asocian o repiten en el espacio geográfico según un determinado patrón.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Una unidad de paisaje tiene al menos una geoforma. ▪ Una geoforma debe pertenecer a una unidad de paisaje.
<p>Cada familia de suelos debería estar representada por un perfil modal, que recoge el intervalo de variación de las propiedades de los distintos perfiles tipo de la familia. Sin embargo, se ha considerado de interés el poder reflejar diferencias respecto a propiedades limitantes diferenciales como la profundidad de los suelos. En este sentido se considera como diferentes perfiles modales de la misma familia a suelos con diferente clase de profundidad.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Una familia de suelos puede tener más de un perfil modal. ▪ Un perfil modal debe pertenecer a una única familia de suelos .
<p>Un perfil modal agrupa horizontes con diferentes características y se admite que un mismo horizonte (modal) solamente puede encontrarse en un perfil modal. Horizontes que solamente varían en su espesor se han considerado diferentes (aunque conservan iguales el resto de sus características) a efectos del diseño de la base de datos. (Los valores de características como la profundidad de suelos o textura del horizonte superficial se incorporarán a nivel de fase en la entidad de la unidad cartográfica). Por otra parte, los perfiles modales de una familia se definen en base a perfiles tipo con existencia real. Estos contienen información relativa al perfil, que se describe y codifica en campo.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Un perfil modal tiene uno o más horizontes. ▪ Un horizonte sólo está presente en un único perfil modal. ▪ Un perfil modal se define en base a uno o más perfiles tipo con existencia real. ▪ Un perfil tipo entra en la definición de un único perfil modal.
<p>Un perfil tipo se compone de horizontes, con existencia real, cuyas características se describen morfométrica y analíticamente.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Un perfil tipo tiene uno o más horizontes. ▪ Un horizonte está presente en un único perfil tipo.