



**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

**Tabla 3.7. Modelo de suelo-paisaje del área de vertientes y barrancos.**

Geoformas	Material originario	Suelos
Divisorias redondeadas (crestas), (pendiente 5-15%)	Depósitos detríticos finos con gravas poligénicas	Xerochrepts petrocálcicos, franca gruesa, mezclada, térmica. Xerochrepts petrocálcicos, franca, mezclada, térmica, superficial. Xerochrepts calcixeróllicos, limosa gruesa, carbonática, térmica.
	Depósitos detríticos finos con gravas poligénicas y calcilutitas	Xerochrepts calcixeróllicos, arenosa, mezclada, térmica. Xerorthents típicos, limosa, mezclada (calcárea), térmica, superficial.
Vertientes complejas, fuertemente inclinadas, (pendiente 5-15%)	Depósitos detríticos finos y calcilutitas	Xerochrepts fluvénticos, limosa fina, mezclada, térmica. Xerochrepts calcixeróllicos, limosa fina, carbonática, térmica. Xerochrepts calcixeróllicos, franca gruesa, mezclada, térmica. Xerochrepts calcixeróllicos, franca fina, mezclada, térmica. Xerorthents típicos, limosa, mezclada (calcárea), térmica, superficial.
Vertientes complejas, de fuertemente inclinadas a colinadas, (pendiente 10-20%)	Calcilutitas y areniscas	Xerorthents típicos, limosa, mezclada (calcárea), térmica, superficial. Xerorthents típicos, franca, mezclada (calcárea), térmica, superficial.
	Depósitos detríticos finos y calcilutitas	Xerochrepts fluvénticos, limosa fina, mezclada, térmica, (prof. 100-150 cm). Xerochrepts calcixeróllicos, franca gruesa, mezclada, térmica. Xerochrepts calcixeróllicos, franca gruesa, mezclada, térmica, (prof. 50-100 cm). Xerochrepts calcixeróllicos, limosa fina, carbonática, térmica, (prof. 100-150 cm). Xerochrepts calcixeróllicos, franca gruesa, carbonática, térmica. Xerochrepts calcixeróllicos, franca fina, mezclada, térmica. Xerofluvents típicos, limosa fina, mezclada (calcárea), térmica. Xerorthents típicos, limosa, mezclada (calcárea), térmica, superficial.
Vertientes complejas colinadas, (pendiente 15-20%)	Calcilutitas y areniscas	Xerorthents típicos, franca, mezclada (calcárea), térmica, superficial.
	Depósitos detríticos finos y calcilutitas	Xerochrepts calcixeróllicos, limosa fina, carbonática, térmica. Xerorthents típicos, limosa, mezclada (calcárea), térmica, superficial.
Vertientes, de moderadamente escarpadas a escarpadas, (pendiente 20-30%)	Depósitos detríticos finos y calcilutitas	Xerochrepts calcixeróllicos, franca fina, mezclada, térmica, (prof. 50-100 cm). Xerorthents típicos, franca, mezclada (calcárea), térmica, superficial.

#### 3.3.3.4. Suelos del área de relieve suavemente ondulado

Los materiales originarios de los suelos de esta unidad de paisaje son mayoritariamente calcilutitas y areniscas incoherentes, y materiales detríticos con gravas poligénicas de origen aluvial.

En las divisorias y en los segmentos superiores de las vertientes cóncavas moderadamente inclinadas circundantes, permanecen algunos residuos de conglomerados terciarios sin cementar y bancos de areniscas que se han comportado como materiales más resistentes a la erosión. En estos materiales se han desarrollado Xerochrepts calcixeróllicos de clases texturales franca gruesa (Figura 3.11b) y esquelética franca, y clase mineralógica carbonática. En algunas de las divisorias el nivel resistente ha desaparecido por efecto de la erosión, y actualmente afloran calcilutitas, en las cuales se han desarrollado Xerorthents típicos, de clase textural franca y poco o muy poco profundos, y también Xerochrepts calcixeróllicos de clase textural franca fina y mineralogía mezclada (Figura 3.11a).

Xerorthents típicos y Xerochrepts calcixeróllicos también se alternan en las vertientes cóncavas, moderadamente escarpadas (pendiente 10-20%) que constituyen el escarpe de la divisoria de las cuencas del río Foix y del arroyo Romani, y en algunas otras vertientes resultado de la incisión de la red de drenaje en los sedimentos terciarios que rellenan la zona sur del área de estudio. En ambos casos, los Xerochrepts calcixeróllicos tienen clase textural franca gruesa y mineralogía mezclada, con una profundidad entre 50-100 cm. No obstante, los suelos más frecuentes en estas geoformas son los Xerorthents típicos, de clase textural franca, mineralogía mezclada (calcárea) y poco profundos, desarrollados en calcilutitas (Figura 3.11c).

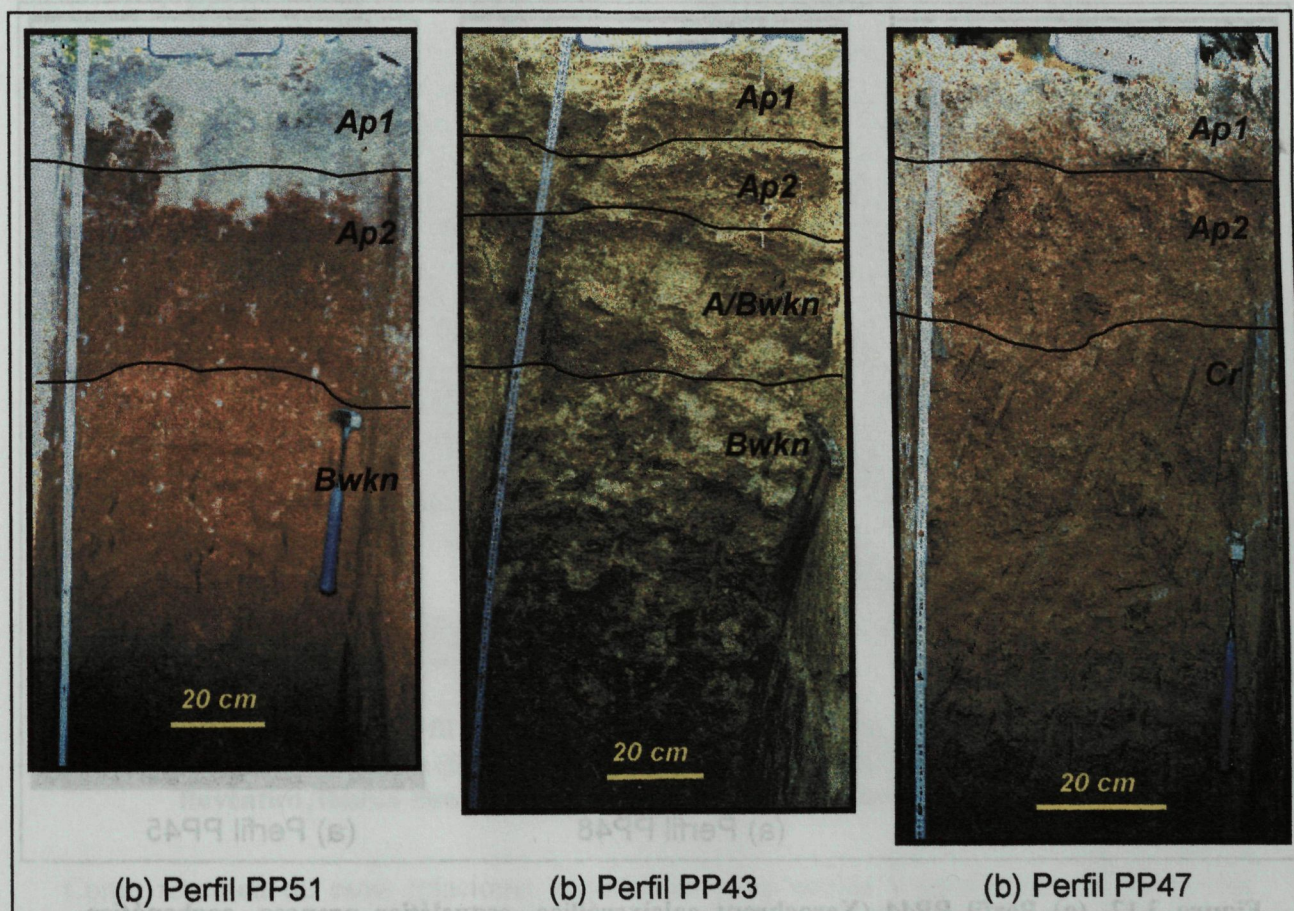


Figura 3.11. (a) Perfil PP51 (Xerochrept calcixeróllico, franca fina, mezclada, térmica), en Can Baldús (Santa Fe del Penedès), (b) perfil PP43 (Xerochrept calcixeróllico, franca gruesa, carbonática, térmica) en Torrelavit, y (c) perfil PP47 (Xerorthent típico, franca, mezclada (calcárea), superficial) en El Gorner (Pla del Penedès).

Los suelos de las vertientes cóncavas, moderada o fuertemente inclinadas (5-10% de pendiente), que conectan la parte inferior de las vertientes moderadamente escarpadas con la red de arroyos y barrancos, también presentan una alternancia de Xerorthents típicos de clase textural franca y poco profundos, y Xerochrepts calcixeróllicos de clases texturales franca fina y franca gruesa y mineralogía mezclada, que en algunos casos presentan profundidades entre 50-100 cm. En la parte inferior de estas vertientes, y en materiales detríticos finos de origen aluvial, se han descrito Xerochrepts acucos de clase textural franca gruesa y mineralogía mezclada (Figura 3.13a). Estos suelos presentan un endopedión cálcico con frecuentes acumulaciones secundarias de carbonato cálcico en forma de nódulos, y también evidencias de drenaje deficiente, como manchas de reducción con croma igual a 2.

Los suelos de las vertientes en glacia y antiguas llanuras aluviales se han desarrollado en materiales detríticos con gravas poligénicas. Abundan los Xerochrepts calcixeróllicos de clase textural esquelética arenosa y mineralogía carbonática, desarrollados en los materiales más groseros (Figura 3.12a), y los Xerochrepts calcixeróllicos de clase textural franca gruesa y mineralogía mezclada, desarrollados en los materiales menos groseros (Figura 3.12b).

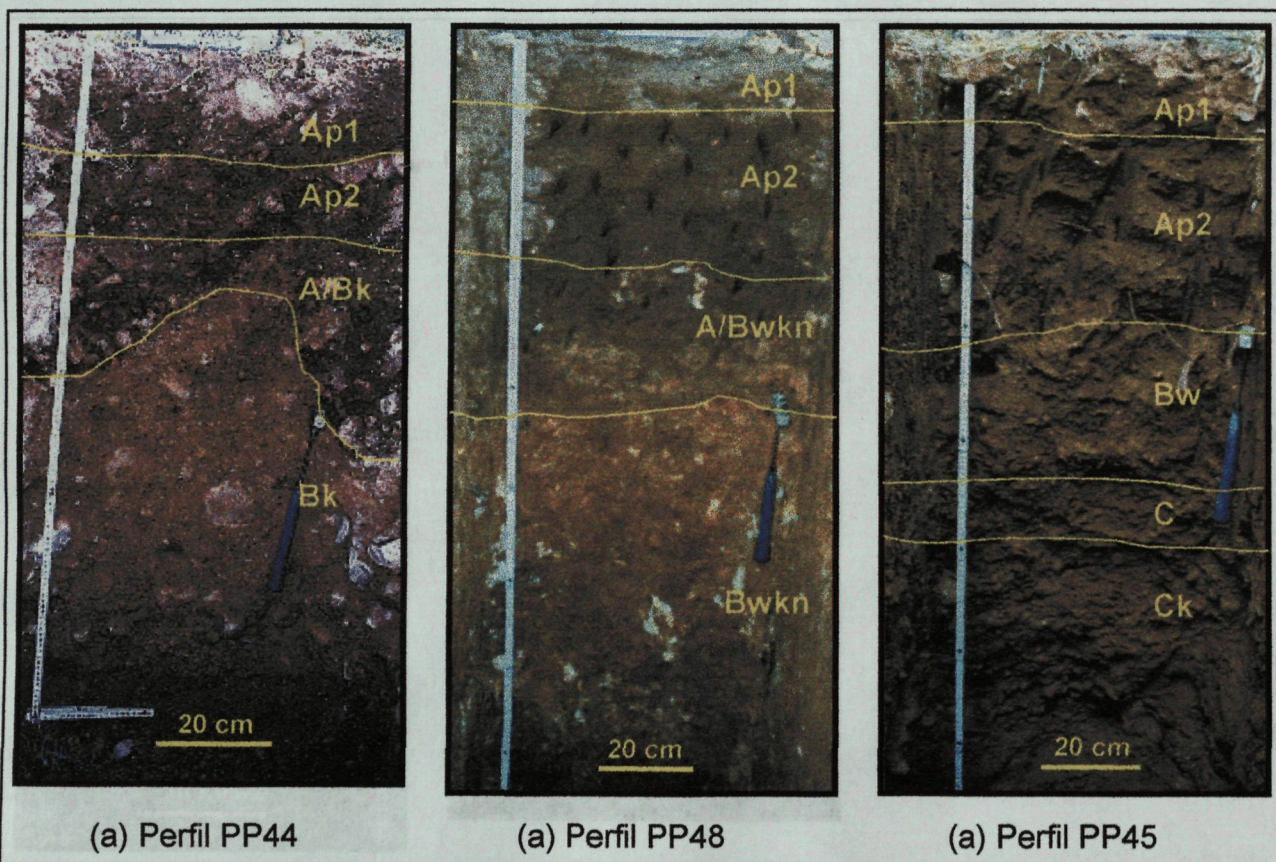
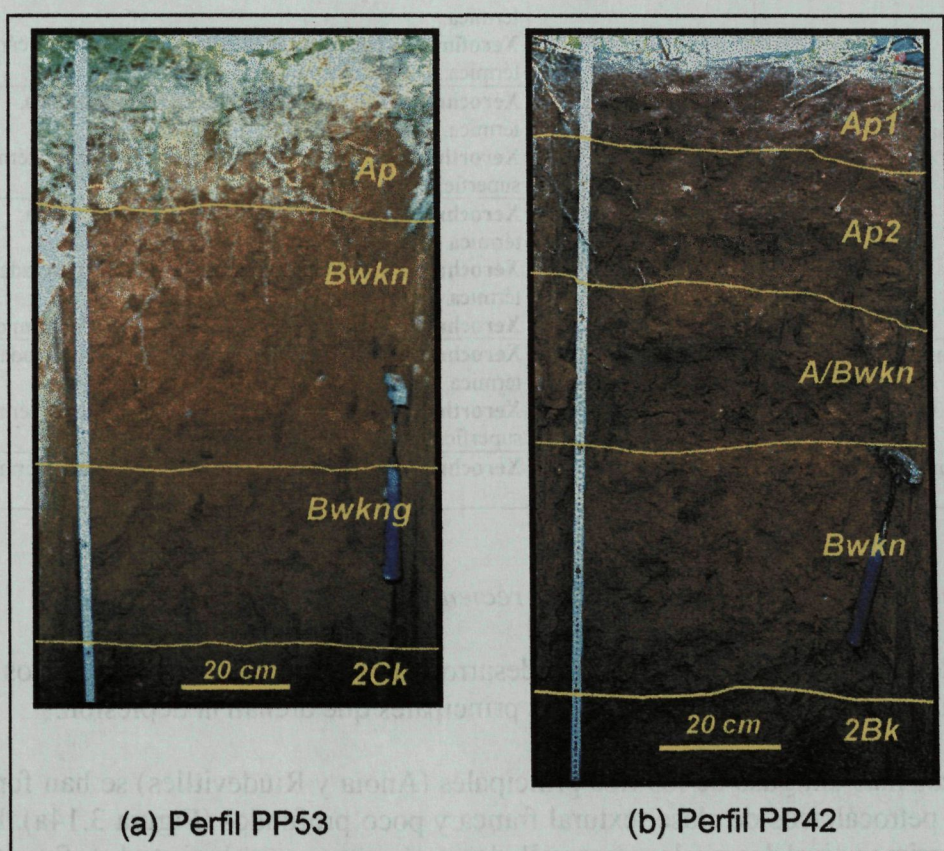


Figura 3.12. (a) Perfil PP44 (Xerochrept calcixeróllico, esquelética arenosa, carbonática, térmica) en Can Nadal (Torrelavit), (b) perfil PP48 (Xerochrept calcixeróllico, franca gruesa, mezclada, térmica) en El Gorner (Pla del Penedès), y (c) PP45 Xerofluent típico, limosa fina, mezclada (calcárea), térmica) en Can Nadal (Torrelavit).

Estas geoformas drenan a la red principal de arroyos y barrancos a través de unos fondos donde se han desarrollado suelos muy profundos de texturas finas (Xerofluvents típicos de clase textural limosa fina y mineralogía mezclada (calcárea), Figura 3.12c). Actualmente estos fondos suelen presentar incisión de cárcavas, que se desarrollan por erosión remontante desde el desagüe en los barrancos y arroyos.

En los fondos de mayor amplitud, que recogen el drenaje y los sedimentos de las vertientes en glaciares adyacentes, se han desarrollado Xerochrepts fluvénticos de clase textural limosa fina y mineralogía mezclada. Estos suelos se caracterizan por una distribución irregular del contenido de materia orgánica en profundidad y por la presencia de un endopediación cálcico, con frecuentes acumulaciones secundarias de carbonato cálcico en forma de nódulos (Figura 3.13b).



**Figura 3.13. (a) Perfil PP53 (Xerochrept acuico, franca gruesa, mezclada, térmica) en El Pont (Santa Fe del Penedès), y (b) perfil PP42 (Xerochrept fluvéntico, limosa fina, mezclada, térmica) en Can Nadal (Torrelavit).**

Como resumen de estas relaciones observadas entre suelos y geoformas, la Tabla 3.8 recoge el modelo de suelo-paisaje descrito para el área de relieve suavemente ondulado.

**Tabla 3.8. Modelo de suelo-paisaje del área de relieve suavemente ondulado.**

Geoformas	Material originario	Suelos
Asociación de divisorias y vertientes cóncavas moderadamente inclinadas, (pendiente 5-10%)	Calclutitas y conglomerados sin cementar	Xerochrepts calcixeróllicos, franca fina, mezclada, térmica. Xerochrepts calcixeróllicos, franca gruesa, carbonática, térmica. Xerochrepts calcixeróllicos, esquelética arenosa, carbonática, térmica. Xerorthents típicos, franca, mezclada (calcárea), térmica, superficial.
Vertientes cóncavas, suavemente inclinadas, (pendiente 1-5%)	Calclutitas	Xerorthents típicos, franca, mezclada (calcárea), superficial.
Vertientes en glaciis y llanuras aluviales, (pendiente 1-10%)	Depósitos detríticos con gravas poligénicas	Xerochrepts calcixeróllicos, esquelética arenosa, carbonática, térmica. Xerochrepts calcixeróllicos, franca gruesa, mezclada, térmica. Xerofluvents típicos, limosa fina, mezclada (calcárea), térmica. Xerofluvents típicos, franca gruesa, mezclada (calcárea), térmica.
Vertientes, de moderada a fuertemente inclinadas, (pendiente 5-10%)	Calclutitas	Xerochrepts calcixeróllicos, franca fina, mezclada, térmica, (prof. 50-100 cm). Xerorthents típicos, franca, mezclada (calcárea), térmica, superficial.
	Depósitos detríticos finos	Xerochrepts calcixeróllicos, franca fina, mezclada, térmica. Xerochrepts calcixeróllicos, franca gruesa, mezclada, térmica. Xerochrepts acuicos, franca gruesa, mezclada, térmica.
Vertientes cóncavas, moderadamente escarpadas, (pendiente 10-20%)	Calclutitas y conglomerados sin cementar	Xerochrepts calcixeróllicos, franca gruesa, mezclada, térmica, (prof. 50-100 cm). Xerorthents típicos, franca, mezclada (calcárea), térmica, superficial.
Fondos, (pendiente 5-10%)	Depósitos detríticos finos	Xerochrepts fluvénticos, limosa fina, mezclada, térmica.

### 3.3.3.5. Suelos del área de niveles aluviales recientes

Los suelos de esta unidad de paisaje se han desarrollado en depósitos detríticos finos y con gravas que han sido aportadas por los cauces principales que drenan la depresión.

En las terrazas más antiguas de los ríos principales (Anoia y Riudeviltles) se han formado Xerochrepts petrocálcicos de clase textural franca y poco profundos (Figura 3.14a). En las terrazas del primer nivel los suelos desarrollados están menos evolucionados. Se alternan Xerochrepts calcixeróllicos de clase textural esquelética franca y mineralogía carbonática, desarrollados en depósitos detríticos con gravas (Figura 3.14b), y Xerochrepts fluvénticos de clase textural limosa fina y mineralogía mezclada (calcárea), desarrollados en las pasadas de materiales finos. Estos últimos presentan un endopedión cálcico con frecuentes acumulaciones secundarias de carbonato cálcico en forma de nódulos y rizoconcrecciones de caliza.

En las llanuras aluviales, en los depósitos finos, se encuentran los suelos menos evolucionados, que pertenecen a las clases Xerofluvents típicos de texturas limosas finas y francas gruesas, y mineralogía mezclada (calcárea) (Figura 3.14c). Estos son suelos muy profundos que presentan distribución irregular de la materia orgánica en profundidad.

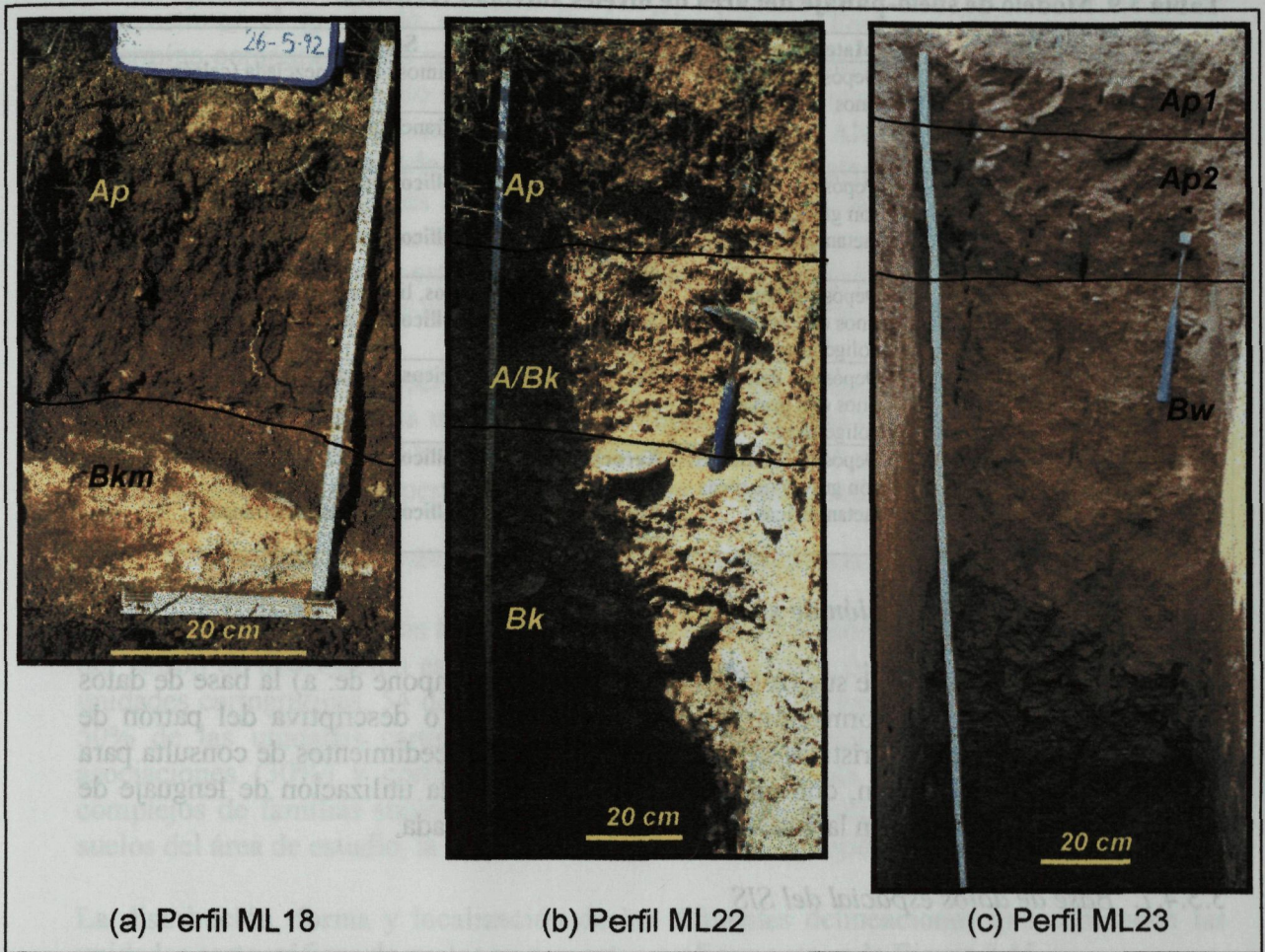


Figura 3.14. (a) Perfil ML18 (Xerochrept petrocálcico, franca, mezclada, térmica, superficial) en Monistrol d’Anoia, (b) perfil ML22 (Xerochrept calcixeróllico, esquelética franca, carbonática, térmica) en Monistrol d’Anoia, y (c) perfil ML23 (Xerofluent típico, limosa fina, mezclada (calcárea), térmica) en Monistrol d’Anoia.

La Tabla 3.9 resume el modelo de suelo-paisaje descrito para el área de niveles aluviales recientes.

**Tabla 3.9. Modelo de suelo-paisaje del área de niveles aluviales recientes.**

Geoformas	Material originario	Suelos
Red principal	Depósitos detríticos finos	Xerofluvents típicos, limosa fina, mezclada (calcárea), térmica.
Red secundaria		Xerofluvents típicos, franca gruesa, mezclada (calcárea), térmica.
Asociación de llanuras aluviales y terrazas bajas, (red secundaria)	Depósitos detríticos con gravas de rocas metamórficas	Xerochrepts calcixerólicicos, franca fina, mezclada, térmica. Xerochrepts calcixerólicicos, esquelética franca, mezclada, térmica.
Terrazas bajas, (red principal)	Depósitos detríticos finos con gravas poligénicas	Xerochrepts fluvénticos, limosa fina, mezclada, térmica. Xerochrepts calcixerólicicos, esquelético arenosa, carbonática, térmica.
Terrazas medias, (red principal)	Depósitos detríticos finos con gravas poligénicas	Xerochrepts petrocálcicos, franca, mezclada, térmica, superficial.
Asociación de terrazas y glacis entre niveles de terrazas, (red secundaria)	Depósitos detríticos con gravas de rocas metamórficas	Xerochrepts calcixerólicicos, franca fina, mezclada, térmica. Xerochrepts calcixerólicicos, esquelética franca, mezclada, térmica.

### 3.3.4. Sistema de información de suelos

El sistema de información de suelos (SIS) desarrollado se compone de: a) la base de datos espacial, que recoge la información geométrica y temática o descriptiva del patrón de distribución y de las características de los suelos, y b) los procedimientos de consulta para el análisis de la información, que en este caso se basan en la utilización de lenguaje de consulta estructurado SQL en la base de datos relacional diseñada.

#### 3.3.4.1. Base de datos espacial del SIS

##### 3.3.4.1.1. Unidades taxonómicas

Las familias de suelos descritas en el área de estudio (Tabla 3.4) sirvieron como base para la definición de las unidades taxonómicas de la base de datos espacial de suelos del Alt Penedès – Anoia, constituidas por fases de familias.

El hecho de trabajar con la familia de suelos como base de la unidad taxonómica presentó problemas a la hora de la elección de un perfil tipo que representase a la unidad. La familia es un taxon que fue creado para agrupar series con características similares. Así, dentro de una familia se pudieron distinguir varios perfiles tipo con características diferenciales que corresponderían a distintas series.

Estas características diferenciales en perfiles tipo de una misma familia, que principalmente fueron debidas a la profundidad efectiva del suelo y propiedades relacionadas con ella, fueron recogidas a nivel de fase. De cara al diseño de la base de datos de suelos esto se resolvió considerando más de un perfil modal para las familias que presentaban estas características diferenciales, de forma que dos perfiles modales de una misma familia varíen en las características distintivas de profundidad del suelo y de las propiedades de los horizontes implicados en este incremento o disminución de la profundidad del suelo.



No se consideró el estado erosionado del suelo a nivel de fase de familia por la dificultad para estimar el grado de erosión. Según Wambeke y Forbes (1985), este grado se determina comparando las propiedades del suelo no erosionado en un sitio y estado de uso comparables a las del suelo erosionado. Mediante esta comparación se pueden estimar las pérdidas de partes de horizontes u horizontes enteros. En el Alt Penedès-Anoia, el hecho de realizar labores de desfonde hasta 70-80 cm, previos a la plantación de la viña, hace que los horizontes superficiales sean normalmente una mezcla de los horizontes A/B o A/C, observándose propiedades de horizontes subsuperficiales en superficie. Esto puede dar lugar a error al considerar estas propiedades signo de la pérdida de horizontes superficiales, hecho que también influye en la pérdida de horizontes superficiales en esta área de estudio.

El Anejo 1 recoge la descripción de las 22 familias de suelos descritas en el área de estudio, que componen las unidades taxonómicas de la base de datos de suelos, así como las características principales de los perfiles modales, que recogen el intervalo de variación de las propiedades de los perfiles tipo estudiados de cada familia.

#### 3.3.4.1.2. Unidades cartográficas y clave de la base de datos de suelos

Como resultado del análisis fotointerpretativo y de prospección dirigido a la representación del patrón de distribución espacial de los suelos en el área de estudio se distinguieron 58 unidades cartográficas, 54 de las cuales corresponden a suelos y 4 a áreas misceláneas. El 50% de las unidades cartográficas de suelos son consociaciones y el otro 50% son asociaciones (30%) y complejos (20%). Este número tan alto de asociaciones y de complejos de familias suelos es reflejo de la alta variabilidad espacial que presentan los suelos del área de estudio, la cual se relaciona con la complejidad de las formas del relieve.

La distribución, forma y localización de las diferentes delineaciones que componen las unidades cartográficas de suelos se presentan gráficamente en la Figura 3.15.

En la Tabla 3.10 se presenta la clave o leyenda de las unidades cartográficas de la base de datos de suelos. Es una leyenda con entrada geomorfológica. Esta clave, que facilita al usuario una lectura resumida de la información de suelos contenida en el SIS desarrollado. Recoge los tres niveles categóricos inferiores del sistema de clasificación de geoformas de Zinck (1988): paisaje, relieve y litología del material originario. En la base de datos digital también queda recogida información sobre el nivel inferior, la forma del terreno, en aquellos casos de asociaciones de suelos en que se ha podido observar el patrón de distribución de los suelos en la asociación de formas que componen la unidad.



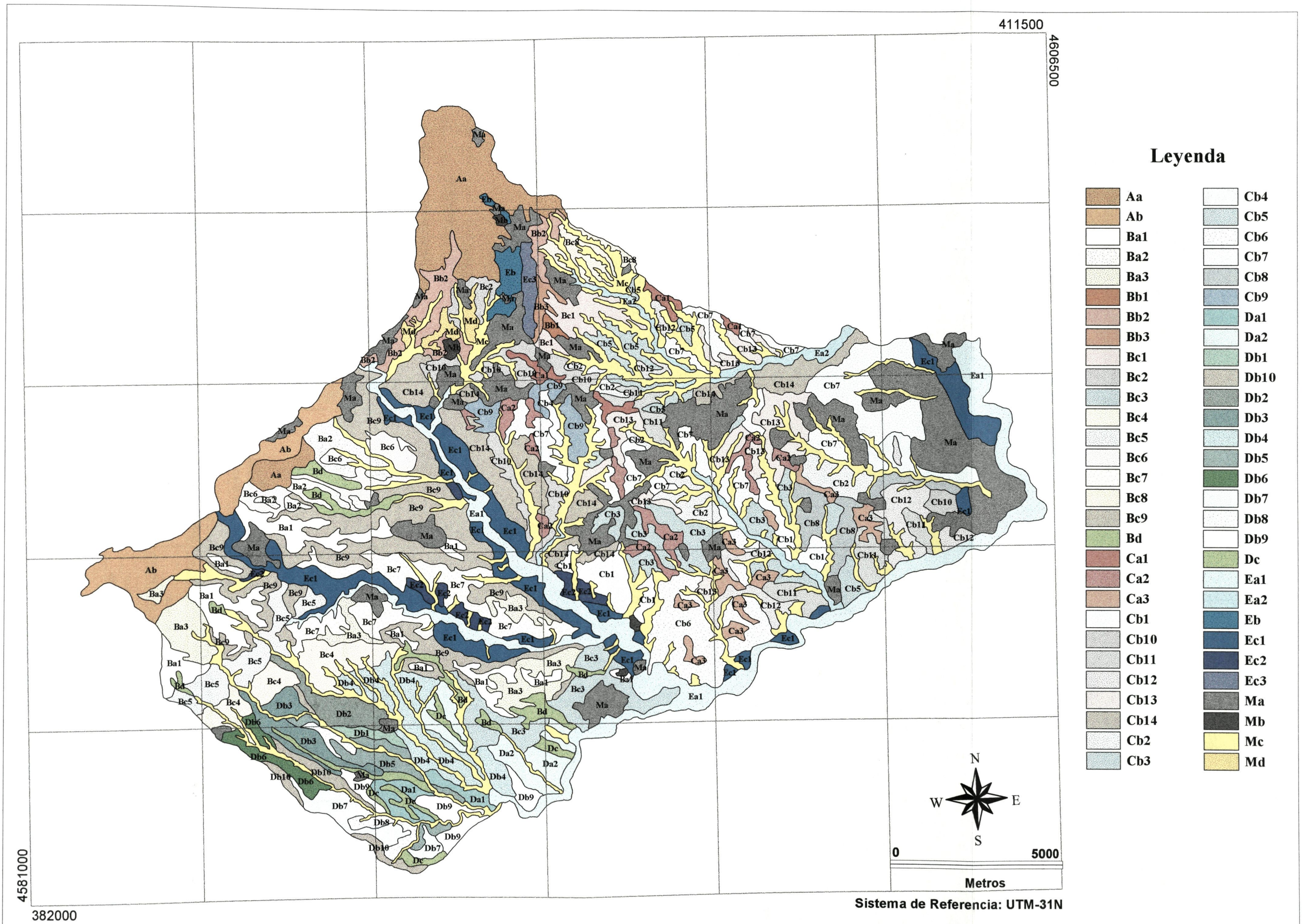


Figura 3.15. Representación espacial de las unidades cartográficas de la base de datos de suelos del Alt Penedès - Anoia. Detalle original de la información equivalente a escala 1:50.000. (Ver leyenda con la descripción de las unidades cartográficas en la Tabla 3.10). (Formato de la información: cobertura vectorial topológica de ArcInfo).



**Tabla 3.10. Clave de la base de datos de suelos del Alt Penedès - Anoia. (Representación simplificada de la información de suelos contenida en la base de datos del sistema de información de suelos).**

Unidad de Paisaje	Geoformas	Material originario	Suelos	Código unidad cartográfica
Montaña (Sierra Preitoral)	Vertientes escarpadas o muy escarpadas, (pendiente >20%)	Esquistos y cuarcitas	Xerorthents líticos, franca, mezclada (no ácida). Fase de textura franca.	Aa
		Rocas calizas y dolomías	Xerorthents líticos, franca, mezclada (calcárea). Fase de textura franca.	Ab
Pie de monte	Plataformas residuales poco disectadas, elevadas 140-160 m sobre los cauces principales del área, (pendiente 5-15%)	Depósitos detríticos con gravas poligénicas	Xerochrepts petrocálcicos, franca, mezclada, superficial. Fase de textura franca.	Ba1
	Plataformas residuales poco disectadas, elevadas 90-110 m sobre los cauces principales del área, (pendiente 5-15%)	Depósitos detríticos con gravas poligénicas	Xerochrepts petrocálcicos, franca, mezclada, superficial. Fase de textura franco arenosa.	Ba2
	Plataformas residuales disectadas, elevadas 140-160 m sobre los cauces principales del área, (pendiente 5-15%)	Depósitos detríticos finos con gravas poligénicas	Asociación de Xerochrepts petrocálcicos, franca, mezclada, superficial y Xerochrepts fluvénticos, limosa fina, mezclada. Fase de textura franca.	Ba3
	Glacis (pendiente 5-15%)	Depósitos detríticos finos con gravas de rocas metamórficas	Complejo de Paloxerals petrocálcicos, arcillosa fina, mezclada y Haploxerals típicos, Esquelética franca, mezclada. Fase de textura franco arcillosa.	Bb1
Vertientes, de suave a moderadamente inclinadas, (pendiente 1-10%)	Vertientes, moderadamente inclinadas, (pendiente 5-15%)	Depósitos detríticos finos y calcilitas	Complejo de Haploxerals típicos, esquelética franca, mezclada y Xerochrepts calcixerólicicos, esquelética franca, mezclada. Fase de textura franco limosa.	Bb2
			Xerochrepts calcixerólicicos, franca fina, carbonática. Fase de textura franca.	Bb3
			Asociación de Xerochrepts calcixerólicicos, franca fina mezclada y Xerofluvents típicos, limosa fina, mezclada(calcárea). Fase de textura franco limosa.	Bc1
Vertientes complejas, fuertemente inclinadas, (pendiente 5-15%)		Depósitos detríticos finos	Xerochrepts típicos, franca gruesa, mezclada. Fase de textura franco arenosa.	Bc2
			Xerochrepts calcixerólicicos, limosa fina, mezclada. Fase de textura franca.	Bc3
		Calcilitas	Xerorthents típicos, Franca, mezclada (calcárea), superficial. Fase de textura franca.	Bc4

**Tabla 3.10. Clave de la base de datos de suelos (continuación).**

Unidad de Paisaje	Geoformas	Material originario	Suelos	Código unidad cartográfica
Pie de monte	Vertientes complejas, fuertemente inclinadas, (pendiente 5-15%)	Depósitos detríticos finos con gravas poligénicas	Asociación de Xerorthents típicos, franca, mezclada (calcareo), superficial y Xerochrepts petrocálcicos, franca, mezclada, superficial. Fase de textura franca.	<b>Bc5</b>
			Asociación de Xerochrepts petrocálcicos, franca gruesa, mezclada y Xerochrepts fluvénticos, limosa fina, mezclada (calcareo). Fase de textura franco limosa. Asociación de Xerochrepts calcixerófilicos, limosa gruesa, carbonática y Xerochrepts petrocálcicos, franca, mezclada, superficial. Fase de textura franca.	<b>Bc6</b>
		Depósitos detríticos finos y calcilutitas	Asociación de Xerochrepts calcixerófilicos, franca gruesa, mezclada, (prof. 100-150 cm) y Xerochrepts calcixerófilicos, franca gruesa, carbonática. Fase de textura franca.	<b>Bc8</b>
			Complejo de Xerorthents típicos, franca, mezclada (calcareo), superficial y Xerochrepts calcixerófilicos, franca fina, mezclada, (prof. 50-100 cm). Fase de textura franca.	<b>Bc9</b>
	Fondos, (pendiente 5-15%)	Depósitos detríticos finos	Xerochrepts fluvénticos, limosa fina, mezclada. Fase de textura franca.	<b>Bd</b>
			Complejo de Xerochrepts calcixerófilicos, limosa gruesa, carbonática, y Xerochrepts petrocálcicos, franca gruesa, mezclada. Fase de textura franco limosa.	<b>Ca1</b>
Área de vertientes y barrancos	Divisorias redondeadas (crestas), (pendiente 5-15%)	Depósitos detríticos finos con gravas poligénicas	Xerochrepts petrocálcicos, franca, mezclada, superficial. Fase de textura franca.	<b>Ca2</b>
			Complejo de Xerochrepts calcixerófilicos, arenosa, mezclada y Xerorthents típicos, limosa, mezclada (calcareo), superficial. Fase de textura franca.	<b>Ca3</b>
		Depósitos detríticos finos con gravas poligénicas y calcilutitas	Xerochrepts calcixerófilicos, limosa fina, carbonática. Fase de textura franca.	<b>Cb1</b>
			Complejo de Xerorthents típicos, limosa, mezclada (calcareo), superficial y Xerochrepts calcixerófilicos, franca gruesa, mezclada. Fase de textura franco limosa.	<b>Cb2</b>
	Vertientes complejas, fuertemente inclinadas, (pendiente 5-15%)	Depósitos detríticos finos y calcilutitas	Complejo de Xerochrepts calcixerófilicos, franca fina, mezclada y Xerochrepts calcixerófilicos, limosa fina, carbonática. Fase de textura franca.	<b>Cb3</b>
			Xerochrepts fluvénticos, limosa fina, mezclada (calcareo). Fase de textura franco arcillo limosa.	<b>Cb4</b>

**Tabla 3.10. Clave de la base de datos de suelos (continuación).**

Unidad de Paisaje	Geoformas	Material originario	Suelos	Código unidad cartográfica	
Área de vertientes y barrancos	Vertientes complejas, de fuertemente inclinadas a colinadas, (pendiente 10-20%)	Calcilutitas y areniscas	Xerorthents típicos, limosa, mezclada (calcárea), superficial. Fase de textura franco limosa. Xerorthents típicos, franca, mezclada (calcárea), superficial. Fase de textura franca.	Cb5  Cb6	
		Depósitos detriticos finos y calcilutitas	Complejo de Xerorthents típicos, limosa, mezclada (calcárea), superficial y Xerochrepts calcixerólicos, franca gruesa, mezclada. Fase de textura franca. Xerochrepts calcixerólicos, limosa fina, carbonática. Fase de textura franca, profundidad 100-150 cm.	Cb7  Cb8	
	Vertientes complejas, colinadas, (pendiente 15-20%)	Calcilutitas y areniscas	Asociación de Xerochrepts calcixerólicos, franca gruesa, mezclada, (prof. 50-100 cm) y Xerochrepts calcixerólicos, franca gruesa, carbonática. Fase de textura franca.	Cb9	
			Xerochrepts fluvénticos, limosa fina, mezclada. Fases de textura franca, profundidad 100-150 cm.	Cb10	
		Depósitos detriticos finos y calcilutitas	Asociación de Xerochrepts calcixerólicos, franca fina, mezclada y Xerofluvents típicos, limosa fina, mezclada (calcárea). Fase de textura franco limosa.	Cb11	
			Xerorthents típicos, franca, mezclada (calcárea), superficial. Fase de textura franco limosa.	Cb12	
	Vertientes, de moderadamente escarpadas a escarpadas, (pendiente 20-30%)		Asociación de Xerochrepts calcixerólicos, limosa fina, carbonática y Xerorthents típicos, limosa, mezclada (calcárea), superficial. Fase de textura franco arcillo limosa.	Cb13	
		Depósitos detriticos finos y calcilutitas	Complejo de Xerorthents típicos, franca, mezclada (calcárea), superficial y Xerochrepts calcixerólicos, franca fina, mezclada, (prof. 50-100 cm). Fase de textura franca.	Cb14	
	Área de relieve suavemente ondulado (Pla del Penedès)	Asociación de divisorias y vertientes cóncavas moderadamente inclinadas, (pendiente 5-10%)	Calcilutitas y conglomerados sin cementar	Xerorthents típicos, franca, mezclada (calcárea), superficial. Fase de textura franco arenosa.	Da1
				Asociación de Xerochrepts calcixerólicos, franca fina, mezclada, Xerochrepts calcixerólicos, franca gruesa, carbonática y Xerochrepts calcixerólicos, esquelética arenosa, carbonática. Fase de textura franca.	Da2

**Tabla 3.10. Clave de la base de datos de suelos (continuación).**

Unidad de Paisaje	Geoformas	Material originario	Suelos	Código unidad cartográfica
Área de relieve suavemente ondulado (Pla del Penedes)	Vertientes cóncavas, suavemente inclinadas, (pendiente 1-5%) Vertientes en glacis y llanuras aluviales, (pendiente 1-10%)	Calcilitas	Xerorthents típicos, franca, mezclada (calcárea), superficial. Fase de textura franco limosa.	<b>Db1</b>
		Depósitos detríticos con gravas poligénicas	Asociación de Xerochrepts calcixerófilicos, esquelética arenosa, carbonática y Xerofluvents típicos, limosa fina, mezclada (calcárea). Fase de textura franca. Complejo de Xerochrepts calcixerófilicos, esquelética arenosa, carbonática, y Xerochrepts calcixerófilicos, franca gruesa, mezclada. Fase de textura franca. Xerochrepts calcixerófilicos, franca gruesa, mezclada. Fase de textura franca. Xerofluvents típicos, franca gruesa, mezclada (calcárea). Fase de textura franco limosa.	<b>Db2</b> <b>Db3</b> <b>Db4</b> <b>Db5</b>
	Vertientes, de moderada a fuertemente inclinadas, (pendiente 5-10%)	Calcilitas	Xerofluvents típicos, limosa fina, mezclada (calcárea). Fase de textura franco limosa.	<b>Db6</b>
		Depósitos detríticos finos	Complejo de Xerorthents típicos, franca, mezclada (calcárea), superficial y Xerochrepts calcixerófilicos, franca fina, mezclada, (prof. 50-100 cm). Fase de textura franca. Asociación de Xerochrepts calcixerófilicos, franca fina, mezclada y Xerochrepts acuícos, franca gruesa, mezclada. Fase de textura franca. Xerochrepts calcixerófilicos, franca gruesa, mezclada. Fase de textura franca.	<b>Db7</b> <b>Db8</b> <b>Db9</b>
	Vertientes cóncavas, moderadamente escarpadas, (pendiente 20-45%) Fondos, (pendiente 5-10%)	Calcilitas y conglomerados sin cementar	Asociación de Xerorthents típicos, franca, mezclada (calcárea), superficial y Xerochrepts calcixerófilicos, franca gruesa, mezclada, (prof. 50-100 cm). Fase de textura franco arenosa.	<b>Db10</b>
		Depósitos detríticos finos	Xerochrepts fluventícos, limosa fina, mezclada. Textura franca.	<b>Dc</b>
Área de niveles aluviales recientes	Llanuras aluviales	Red principal	Xerofluvents típicos, limosa fina, mezclada (calcárea). Fase de textura franca.	<b>Ea1</b>
		Red secundaria	Xerofluvents típicos, franca gruesa, mezclada (calcárea). Fase de textura franco arenosa.	<b>Ea2</b>



Tabla 3.10. Clave de la base de datos de suelos (continuación).

Unidad de Paisaje	Geoformas	Material originario	Suelos	Código unidad cartográfica
Area de niveles aluviales recientes	Asociación de llanuras aluviales y terrazas bajas, (red secundaria)	Depósitos detríticos con gravas de rocas metamórficas	Asociación de Xerochrepts calcixerólicicos, franca fina, mezclada y Xerochrepts calcixerólicicos, esquelética franca, mezclada. Fase de textura franco arenosa.	Eb
	Terrazas bajas, (red principal)	Depósitos detríticos finos con gravas poligénicas	Asociación de Xerochrepts fluvénticos, limosa fina, mezclada y Xerochrepts calcixerólicicos, esquelético arenosa, carbonática. Fase de textura franca.	
	Terrazas medias, (red principal)	Depósitos detríticos finos con gravas poligénicas	Xerochrepts petrocálicicos, franca, mezclada, superficial. Fase de textura franca.	Ec2
Areas misceláneas	Asociación de terrazas y glacia entre niveles de terrazas, (red secundaria)	Depósitos detríticos con gravas de rocas metamórficas	Asociación de Xerochrepts calcixerólicicos, franca fina, mezclada y Xerochrepts calcixerólicicos, esquelética franca, mezclada. Fase de textura franca.	Ec3
			Areas urbanas e industriales	
			Areas de extracción de áridos	
			Areas de cárcavas y barrancos	
			Areas de badlands	Ma
				Mb
				Mc
				Md

3.3.4.1.3. Modelo conceptual de la base de datos del SIS

La Figura 3.16 muestra el diagrama de Entidad-Relación que representa el modelo conceptual de la base de datos del sistema de información de suelos diseñado. En este diagrama se muestran las entidades que componen la base de datos (tablas), los identificadores clave y externos (que permiten establecer las relaciones entre tablas) y las relaciones. Este diagrama es la traducción de las bases y reglas de diseño de la base de datos consideradas

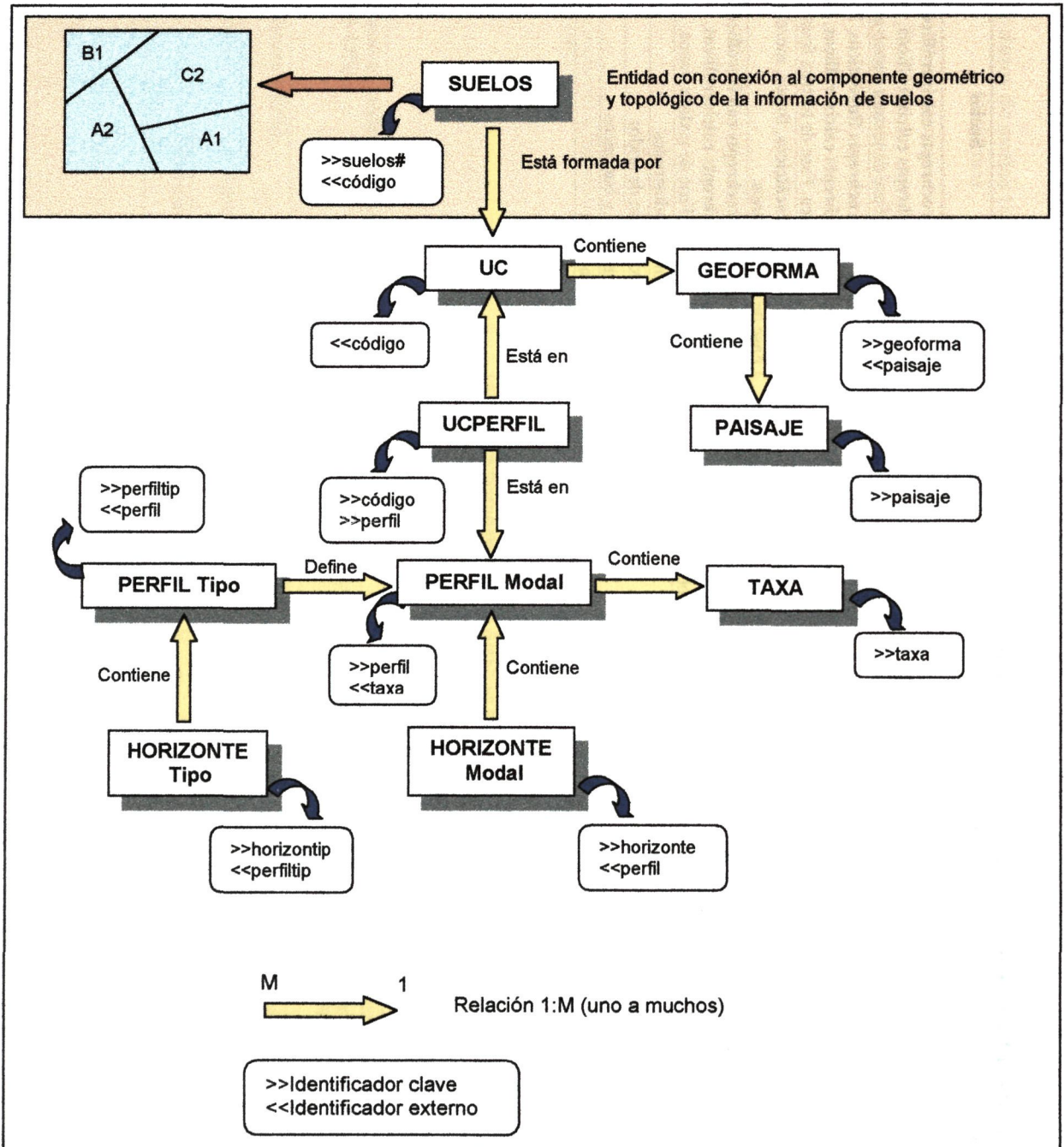


Figura 3.16. Diagrama de Entidad-Relación que representa el modelo conceptual de la base de datos de suelos. En el diagrama aparecen las entidades, los atributos o identificadores clave y externos y las relaciones.

Como relaciones del tipo muchos-a-muchos (M:N) no están permitidas en el modelo relacional, fue necesario crear una nueva tabla, denominada UCPERFIL, entre la entidad unidades cartográficas (UC) y la entidad perfiles modales (PERFIL Modal). De este modo aparecen dos relaciones del tipo (1:M).

El modelo conceptual de la base de datos de la Figura 3.16 refleja la relación entre los suelos y las geoformas como concepto fundamental de la estructura. La entidad que acoge esta relación es la unidad cartográfica (UC), que tiene un componente espacial (delineaciones de SUELOS) y un componente temático (clases de suelo y tipos de geoformas).

A diferencia de otros autores (Fernández i Rusinkiewicz 1993, Fernández *et al.* 1993), que distinguen diferentes entidades para los diferentes tipos de unidades cartográficas (consociaciones o complejos), lo cual supone una mayor complejidad de la base de datos, en el modelo aquí propuesto esta información se recoge en la propia entidad unidad cartográfica. La información sobre los componentes de suelos en una unidad cartográfica y su porcentaje se recoge en una tabla específica que contiene la relación entre unidades taxonómicas y unidades cartográficas.

Las unidades taxonómicas están representadas por los perfiles modales de las familias, que incluyen información sobre las fases de familia. Este enfoque permite reflejar el nivel de detalle cartográfico adquirido en campo, que no quedaría registrado si se hubiese considerado un solo perfil modal para cada familia.

La entidad perfil modal recoge el intervalo de variación de los perfiles tipo, con existencia real, que son representativos de las familias, y las características diferenciadoras dentro de ellas.

#### 3.3.4.1.4. Modelo físico de la base de datos del SIS

El modelo físico de la base de datos fue diseñado e implementado de acuerdo al modelo conceptual presentado en la Figura 3.16. Se consideró la información de suelos relevante en aplicaciones de análisis de las propiedades de los suelos y de planificación de los usos de los suelos a escala regional. Este modelo interno es el que es operativo.

Consta de:

- a) Geometría del patrón de distribución, forma y localización de las delineaciones que componen las unidades cartográficas. Ha sido implementada en una estructura de datos vectorial topológica de la cual se muestra una representación cartográfica en la Figura 3.15.
- b) Descripción temática de la información de suelos, contenida en las tablas o entidades indicadas en el modelo conceptual. Se compone de las diferentes tablas indicadas en el modelo conceptual, con sus atributos (columnas de las tablas) y ocurrencias (filas de las tablas). La definición de estas tablas y la de sus atributos se recoge en el Anejo 2.

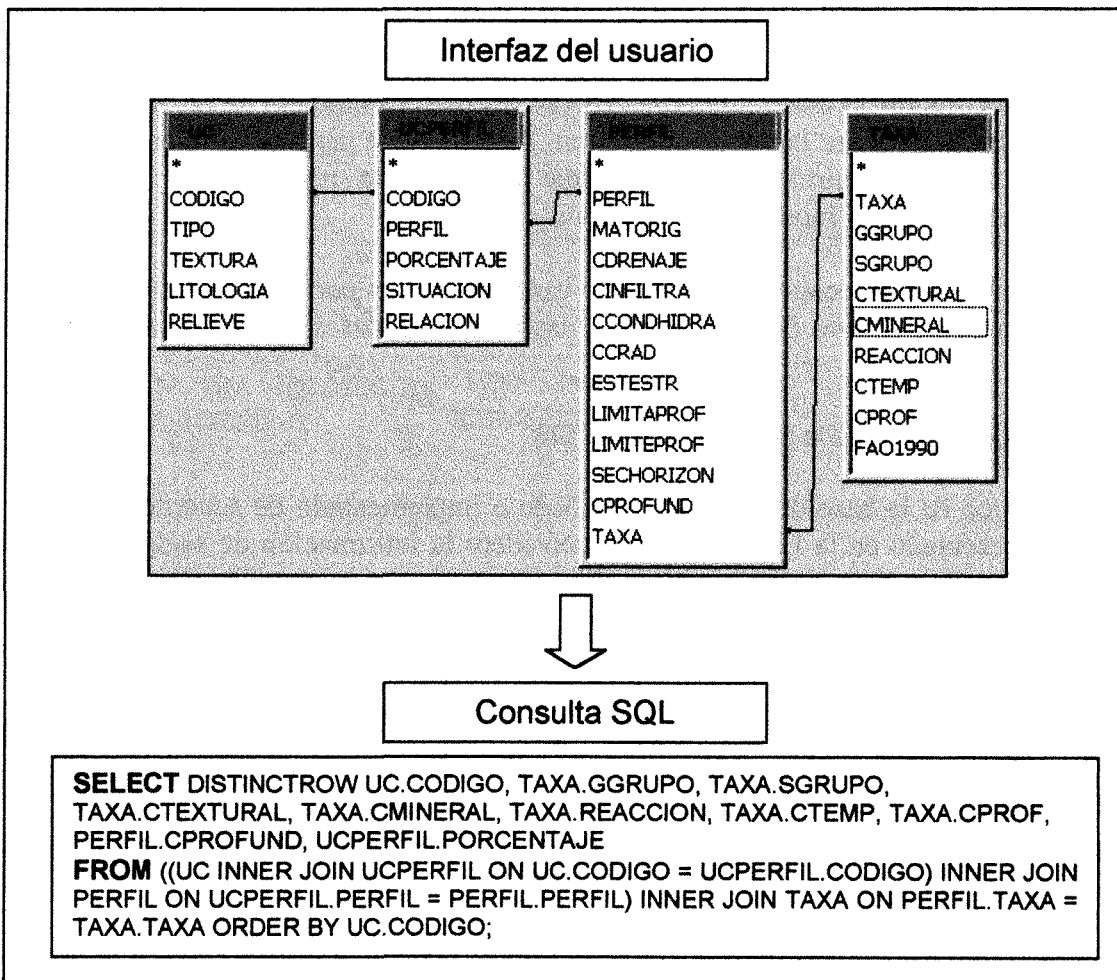
Ambos tipos de información, geometría y atributos, están conectados mediante el identificador de la entidad unidad cartográfica de suelos.

### 3.3.4.2. Procedimientos de consulta del SIS

Se han desarrollado diferentes procedimientos mediante lenguaje de consulta estructurado SQL que permiten analizar la información de suelos contenida en el SIS.

Las consultas programadas se recogen en el Anejo 3. Incluyen consultas simples a partir de una sola entidad o tabla y consultas complejas a partir de más de una entidad. Están orientadas al análisis global de las propiedades de los suelos, cuyos resultados se discuten en la sección 3.3.5.

Un ejemplo gráfico de los procedimientos de consulta desarrollados en el entorno del programa Access mediante el lenguaje SQL y la interfaz del usuario se muestra en la Figura 3.17.



**Figura 3.17. Ejemplo de consulta a la base de datos relacional del sistema de información de suelos mediante lenguaje SQL en el programa Access (Microsoft). El ejemplo muestra una consulta compleja para obtener la información relativa a la composición de las unidades cartográficas de la base de datos de suelos.**

### 3.3.5. Procesos formadores y propiedades de los suelos del Alt Penedès – Anoia

A continuación se exponen y discuten los principales procesos formadores de los suelos que han sido identificados durante la prospección realizada en el Alt Penedès-Anoia y mediante el análisis de la información de suelos recogida en campo y laboratorio. Estos procesos han condicionado las propiedades y morfología de los suelos que se han desarrollado en el área de estudio. Dichos procesos se incluyen en los siguientes grupos:

- Procesos de adición al suelo relacionados con la materia orgánica y aportación de materiales.
- Pérdidas a partir de la superficie del suelo como la erosión laminar, por arroyaderos y por cárcavas.
- Transformaciones dentro del suelo como la meteorización y el desarrollo de estructura.
- Traslocaciones dentro del suelo como la iluviación de arcilla, calcificación y petrocalcificación (cementación).

#### 3.3.5.1. Incremento de materia orgánica

La Tabla 3.11 recoge las frecuencias de las clases de los niveles de materia orgánica de los horizontes superficiales A analizados.

**Tabla 3.11. Contenidos de materia orgánica de los horizontes Ap analizados. Criterio SINEDARES (C.B.D.S.A. 1983).**

Clase	Contenido de Materia Orgánica %	Núm. de muestras	Porcentaje %
Inapreciable	<0.2	1	1.56
Muy bajo	0.2 – 1	41	64.06
Bajo	1 – 2	19	29.68
Medio	2 – 5	3	4.68
Abundante	5 - 10	0	0
Muy abundante	> 10	0	0
Total		64	100

De la Tabla 3.11 se deduce que el 93.74% de los horizontes Ap muestreados tiene un contenido de materia orgánica bajo o muy bajo. Teniendo en cuenta que el contenido que se puede considerar como normal en horizontes Ap es del 1-2% (Porta *et al.* 1994), la mayoría (65.62% de las muestras) presenta niveles por debajo de este intervalo.

Estos niveles tan pobres de materia orgánica pueden explicarse fundamentalmente por dos causas: el tipo de uso del suelo y la erosión.

El incremento de materia orgánica en los horizontes superficiales deriva de la presencia de vegetación. El principal tipo de uso de los suelos del área de estudio es agrícola, siendo el cultivo predominante la viña, que tras periodos de plantación que oscilan entre 20-30 años se alternan con cereales de invierno durante 4-6 años.

El cultivo de la viña no suele llevar aportes de materia orgánica en forma de estiércoles, salvo en el momento de la plantación (30-40 Tn ha<sup>-1</sup> o hasta 80 Tn ha<sup>-1</sup> en casos de

parcelas con movimientos de tierras). Tampoco, suelen incorporarse posteriormente los restos de poda triturados, sino que son apartados de la finca, quemados o utilizados para proteger el avance de las cárcavas.

Por otra parte, y a pesar de que el cereal mejora los niveles de materia orgánica del suelo, no se han encontrado diferencias significativas, mediante la prueba t-Student de separación de medias, entre los contenidos de materia orgánica de los horizontes superficiales en parcelas de viña respecto a los de parcelas de cereales. Este hecho es debido a la larga duración de la viña en relación a la duración del cereal en la rotación (3-5 años respecto a más de 20 de la viña). La Tabla 3.12 muestra los contenidos medios de materia orgánica en los horizontes A analizados, clasificados según los usos de los suelos descritos.

**Tabla 3.12. Usos del suelo y niveles de materia orgánica en los horizontes Ap de los perfiles descritos en el área de estudio.**

Uso del suelo	Materia Orgánica (%) (contenido medio)	Desviación Estándar	Número de perfiles
Olivar	1	0	1
Frutales	1.2	0.28	3
Cereales	1.02	0.46	21
Viña	0.77	0.42	13
Agrícola abandonado	0.63	0.30	3

La erosión, particularmente la erosión laminar y por arroyaderos, es el otro factor que incide en los bajos niveles de materia orgánica por la remoción de la parte superficial del suelo. Esto hace que el horizonte de laboreo sea poco a poco una mezcla de los horizontes A y B o C, más pobres en materia orgánica.

### 3.3.5.2. Aportación de materiales

Dentro de esta denominación se engloban dos tipos de procesos que implican la adición de materiales al suelo: el aluvionamiento y el coluvionamiento.

El proceso de aluvionamiento ha dejado su huella en las áreas asociadas a los cauces actuales (llanuras aluviales y terrazas). Los perfiles estudiados, y en particular los desarrollados a partir de materiales finos, presentan carácter fluvéntico, evidenciando la distribución irregular de materia orgánica en profundidad. Los desarrollados a partir de materiales con gravas o materiales finos con gravas se encuentran en posiciones de terraza y presentan evidencias de calcificación o petrocalcificación (a partir de las terrazas del segundo nivel).

La dinámica actual de los cauces está fuertemente modificada por la actividad humana, habiéndose producido un aumento de la arroyada y formación de cárcavas como consecuencia de la extensión del cultivo (Gallart 1980). Esto repercute en la torrencialidad de los cauces y en el predominio de los fenómenos de transporte sobre los de sedimentación, consecuente con el aumento de la escorrentía directa.

El proceso de coluvionamiento se produce principalmente en las posiciones topográficas de fondo, en las partes inferiores de las vertientes cóncavas y en glacis de conexión con

niveles de terraza. Este proceso también suele conllevar perfiles con carácter fluvéntico (45% de 18 perfiles descritos en estas posiciones) y suelos muy profundos (67% de estos perfiles). No obstante, en estas posiciones se han descrito perfiles poco profundos (40-60 cm), que tienen como material subyacente calcilitas o areniscas (p.e. perfil PM07 en el área modelo de Piera-Masquefa y perfil ML30 en el área modelo de Monistrol d'Anoia). Estos perfiles suelen encontrarse en fondos cercanos a la incisión de cárcavas o en partes inferiores de vertientes con pendiente moderada, donde predominan los procesos de erosión sobre los de sedimentación.

No se han encontrado diferencias significativas en los niveles de materia orgánica en los horizontes superficiales de estos perfiles (1.06%, n = 13) y los descritos en el resto del área de estudio (0.98%, n= 36), lo cual puede evidenciar la dinámica actual erosiva de las superficies topográficas originadas por procesos de coluvionamiento.

### *3.3.5.3. Meteorización*

Los suelos del Alt Penedès-Anoia se han formado, principalmente, a partir de procesos de meteorización que han transformado los materiales incoherentes (calcilitas y areniscas) que rellenan la depresión terciaria.

La disolución del carbonato cálcico de los elementos gruesos de caliza y de los materiales finos por acción del agua con el dióxido de carbono es uno de los principales procesos de meteorización química que tienen lugar. También, su posterior precipitación en otras partes del perfil del suelo. Esto queda patente a lo largo del área de estudio por las evidencias de movimientos de carbonatos en el suelo: disolución de gravas, cemento geopetal, nódulos y rizoconcrecciones de carbonato cálcico y cementaciones. La disolución y lavado de carbonatos en ciertos suelos con bajo contenido inicial de estos y/o en posiciones muy estables, también ha permitido la dispersión de arcilla y su traslocación en el suelo (proceso de iluviación de arcilla).

Se han descrito morfologías derivadas de procesos de óxido-reducción, que han afectado al hierro y manganeso, en forma de manchas. Estos procesos denotan etapas de oxidación (buena aireación) y de reducción en el proceso de formación de estos suelos.

La mayoría de perfiles susceptibles de estar sometidos a mal drenaje (fondos de valle y partes inferiores de vertientes cóncavas con escasa pendiente), presentan estado de oxidación. En un caso (perfil ML31 en el área modelo de Monistrol d'Anoia) se presentan evidencias de haber sufrido condiciones de reducción, que han hecho posible la movilización del hierro, y posteriormente la precipitación, dando lugar a manchas de oxidación (color 10YR4/6). Mientras, en otros suelos como el caso del perfil PP53 en el área modelo del Pla del Penedès, las actuales condiciones de saturación confieren carácter acuico al suelo, que presenta frecuentes manchas de reducción (color 5Y6/2).

Otros suelos que han sufrido condiciones reductoras, aunque actualmente presentan manchas de colores pardo amarillentas y naranjas (10YR5/8 y 7.5YR6/8), son los desarrollados en antiguas llanuras aluviales.

En los horizontes argílicos (perfiles PM05 y PM08 en la zona de Piera – Masquefa, y perfiles TL54 y TL61 en la zona de Torrelavit - Riudevittles) se han descrito manchas frecuentes, muy pequeñas, de color gris muy oscuro (2.5Y3/2 y 2.5Y3/1), asociadas a poros, debidas a reducción del hierro y manganeso. La aparición de estas manchas parece ser típica de las condiciones de formación de los horizontes argílicos (Soriano 1989, Benayas *et al.* 1991). Así mismo, la presencia de este tipo de manchas en algunos horizontes en los que actualmente no se observan revestimientos de arcilla, podría ser signo de su existencia pasada (p.e. perfil ML26 en el área modelo de Monistrol d’Anoia). De forma generalizada, se han encontrado manchas de óxido-reducción en calcilitas, que evidencian condiciones de hidromorfismo en el momento de su deposición.

### 3.3.5.4. Desarrollo de estructura

En la Tabla 3.13 se resumen los tipos y grados de desarrollo de la estructura, según tipos de horizontes, descritos en los perfiles tipo estudiados en el Alt Penedès – Anoia.

**Tabla 3.13. Estructura de los horizontes de los perfiles tipo descritos en campo en el Alt Penedès – Anoia. (Frecuencia de horizontes).**

Estructura primaria	Estructura secundaria	Epipedión óchrico			Endopedión argílico		Endopedión cálcico		Endopedión cámbico y otros horizontes
		Ap	Ap1	Ap2	Bt	Ct	Bwkn	Crkn	Bw
Sin estructura por abundancia de elementos gruesos, granular simple o maciza	Inexistente	1	1	2	-	2	4	20	-
En bloques subangulares (Débil o Muy Débil)	Inexistente	5	25	31	-	-	20	-	12
	Granular compuesta (Débil)	1	4	1	-	-	-	-	-
	Granular compuesta (Moderada o Fuerte)	2	7	2	-	-	-	-	-
En bloques subangulares (Moderada o Fuerte)	Inexistente	10	12	22	-	-	32	-	10
	Granular compuesta (Débil)	1	2	-	-	-	2	-	1
	Granular compuesta (Moderada a Muy Fuerte)	3	6	4	1	-	6	-	2
	En formas debidas a la actividad de la fauna (Débil o Moderada)	-	-	-	-	-	4	-	-
Granular compuesta (Moderada o Fuerte)	Inexistente	1	5	-	-	-	-	-	
Prismática (Moderada o Fuerte)	Inexistente	-	-	-	4	-	2	-	-
	En formas debidas a la actividad de la fauna (Moderada o Fuerte)	-	-	-	-	-	1	-	1
<b>Total horizontes</b>		<b>24</b>	<b>62</b>	<b>62</b>	<b>5</b>	<b>2</b>	<b>71</b>	<b>20</b>	<b>26</b>

Por tipos de horizontes, los superficiales muestran una tendencia a un grado de desarrollo débil o muy débil (52% de todos los horizontes Ap), con estructura en bloques



subangulares; sin existir diferencias significativas en el grado de desarrollo entre horizontes Ap1 y Ap2 (Tabla 3.14). No obstante, se aprecia una cierta tendencia al desarrollo de una estructura secundaria, de tipo granular compuesta, en horizontes Ap1, que puede explicarse por el mayor desarrollo de raíces finas, contenido de materia orgánica y actividad biológica en los primeros centímetros del suelo.

Los horizontes subsuperficiales, a excepción de algunos de suelos que han sufrido aportes recientes de materiales (llanuras de inundación y suelos con aportes coluviales) y otros desarrollados como consecuencia de la edafización de las calcilutitas, presentan grados de desarrollo de estructura que, en la mayoría de los casos, difieren significativamente de los horizontes superficiales.

Los horizontes argílicos Bt y Btkn tienen una estructura prismática moderada o fuerte, típica de los horizontes ricos en arcilla. En los horizontes superficiales de estos suelos, que suelen ser parte de los argílicos puestos en superficie por la erosión y/o el laboreo, se observa un estado degradado de la estructura, generalmente débil en bloques subangulares.

Los horizontes cálcicos Bwkn han desarrollado una estructura en bloques subangulares, con grado moderado o fuerte, que difiere significativamente del desarrollo débil o muy débil que presentan los horizontes superficiales (Tabla 3.14). También es característico de estos horizontes el que puedan presentar, como estructura secundaria, el desarrollo de formas debidas a la actividad de la fauna.

Respecto a otros horizontes subsuperficiales caracterizados por el desarrollo de estructura, Bw, presentan tipos y grados de desarrollo que no difieren de los encontrados en horizontes superficiales, en suelos poco evolucionados (principalmente fondos de valle y llanuras aluviales). No se han descrito formas específicas de estructura debidas a la actividad de la fauna.