



**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

#### **5.4. Prediction of existing gully erosion in vineyard parcels of the NE Spain: A logistic modelling approach.**

A. Meyer (1) and J. A. Martínez-Casasnovas (2). Prediction of existing gully erosion in vineyard parcels of the NE Spain: A logistic modelling approach. *Soil Research and Tillage* (submitted August 1998).

(1) *Institute of Physical Geography and Landscape Ecology, University of Hannover (Germany).*

(2) *Department of Environment and Soil Science, University of Lleida (Spain).*



## **Prediction of existing gully erosion in vineyard parcels of the NE Spain: A logistic modelling approach**

### **Abstract**

This paper presents a study of determining factors and a method to predict the existence of gully erosion in vineyard parcels. The Alt Penedès-Anoia region (Catalonia, NE Spain), mainly dedicated to the cropping of vineyards for high quality wine production, was selected as case study area. Single factors related to the existence of gully erosion were determined by means of statistical tests (Student-t test and Chi-Square). The existence of gully erosion was predicted by means of a multivariate procedure. A stepwise selection of variables (relief, soil, land use/management characteristics) was performed. It allowed the identification of the factors that present a significant relationship with the existence of gully erosion. The selected factors, slope degree and planar slope form, were considered as independent variables in a logistic regression of binary response. The model computes the probability that gullies exist in given vineyard parcels, and it can be implemented in a raster-based Geographical Information System (GIS). The assessment of the model in 52 parcels, different from the training data set, yielded an overall accuracy of 84,6%. The predictive model can be applied for areas with similar conditions but the modelling approach can be applied in other different areas.

Keywords: Gully erosion, GIS, Logistic regression.

### **5.4.1. Introduction**

#### **5.4.1.1. Gully erosion: importance and modelling methods**

Gully erosion is a serious problem specifically in certain areas, because of climate, lithology, soils, relief characteristics and land use. The Alt Penedès – Anoia (Catalonia, NE Spain), a region located in the Mediterranean basin, is a clear example. Porta *et al.* (1994) and Martínez-Casasnovas (1998), using aerial photointerpretation, gave respectively rates of 20% and 31.9% of total surface affected by large gullies in some areas of that region. That says about the importance and repercussion of the problem in the agricultural systems: reduction of parcels size, soil losses, need of costly control practices, damage of infrastructures, etc. Other important implications are dissection of landscape and environmental pollution.

Several are the factors responsible for the existence of serious problems of gully erosion in some regions of the Mediterranean basin. On one hand, the lithology of parent materials (marls in many areas) and the semi-arid climate, with hot and dry summers that frequently coincide or are followed by high intensity rainfalls (Ramos and Porta 1993 and 1994, Hill 1993, Usón 1998). Also during the last centuries, human activities have substantially transformed natural mixed forested areas into agricultural land. The dominant crops (cereals, vineyards, olive and almond trees) only cover the soil during specific periods or with a partial coverage, making soil unprotected against high intensity rainfalls. Moreover, from the advent of mechanisation, parcels have been transformed to adapt them to modern



machinery. This has involved elimination of traditional soil conservation measures, with a negative repercussion on soil erosion.

Gully erosion is usually a regional problem that has to be controlled from the parcel-level to the regional level. Control at regional level is difficult to achieve since the affected region usually has not a unique clear authority, or because huge investments should be made for a subject that is not considered as a priority task. Control at parcel level is more feasible, but in most cases farmers do not see the necessity of implementing control measures. Ephemeral gullies that grow in parcels are routinely removed by conventional tillage or filled with soil materials. Gullies are usually found in natural drainage ways within the parcels (Laflen *et al.* 1986), where runoff is concentrated (Vandaele *et al.* 1996, Poesen 1989, Poesen and Govers 1990). In comparison with rill erosion, ephemeral gullies usually occur at the same place after each high intensity rainfall, and may lead to typical gullies.

Identification at parcel level of areas with high probability of existence of gully erosion constitutes a core element for conservation planning. This information will be useful for farmers as well as for regional planners to know location of risk areas and the level of the risk.

Gully erosion processes are less well understood than other erosion processes (Heede 1979, Imeson and Kwaad 1980, Zinck 1997). Most of the research has been addressed to analyse gully morphology and the stages of gully development, as a first step in evaluating gully processes and assessing potential for gully erosion (Ireland *et al.* 1939, Heede 1970, Imeson and Kwaad 1980, Crouch and Blong 1989). Gully erosion modelling has focused more on development of qualitative and empiric-statistical models than in the formulation of physically-based models (Seginer 1966, Thompson 1964, Williams and Morgan 1976, Stocking 1980, Donker and Damen 1984). Most of them are multivariate regression equations based on factors which have proved their correlation with existing gully erosion. These equations either predict rates of advance of gully heads for established gullies, or give threshold values, above which development of gullies can be expected.

The present paper tries to be a contribution to both: a) the analysis of terrain and land use/management factors determining the existence of gully erosion, particularly in the Alt Penedès – Anoia region, and b) the prediction of existing gully erosion at parcel level in vineyard parcels. First, the correlation of existing gully erosion with single terrain and land use/management factors is determined by means of statistical analysis. Second, a method to predict the existence of gully erosion at parcel level is presented. The last is assessed in terms of the probability gullies exists in a parcel, depending on related terrain and land use/management variables. The probability equation is based on a logistic regression of binary response, for which a large number of variables have been evaluated according to a multivariate approach.

#### 5.4.1.2. The study area

The Alt Penedès-Anoia region (Catalonia, NE Spain) is an agricultural area traditionally dedicated to production of high quality wines and *cavas* (sparkling wine produced by means of the Champagne method) (Figure 5.4.1).

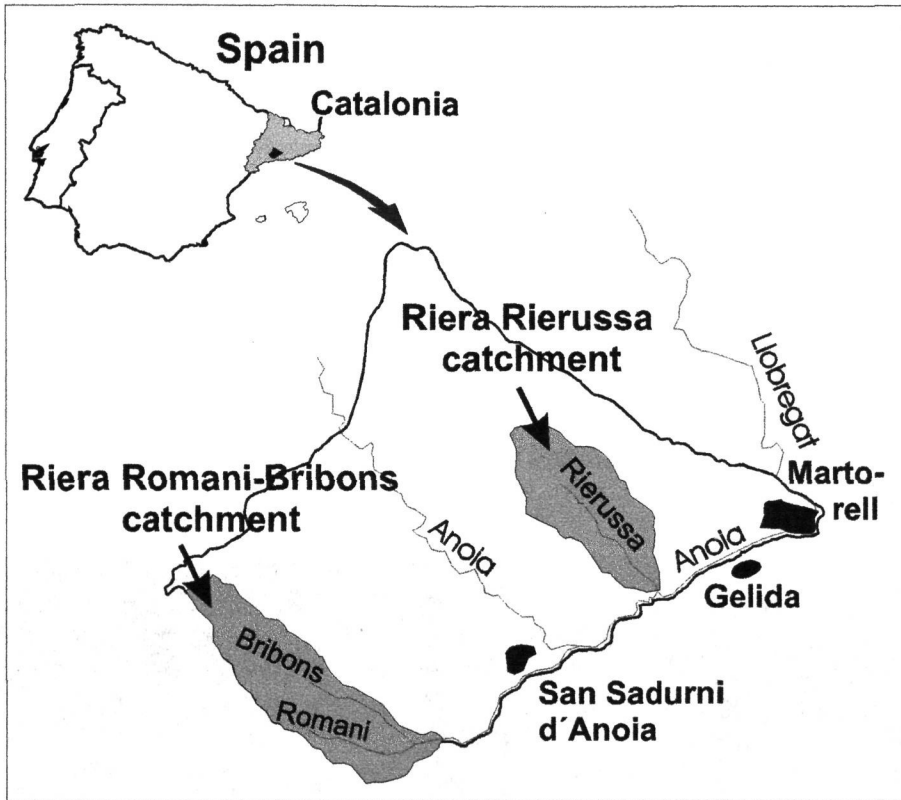


Figure 5.4.1. Location of the study area.

The area is located about 30-40 km south west of Barcelona, between the Sierra Prelitoral mountains and the Anoia and Llobregat rivers. This area is part of the Penedès Tertiary Depression. This include calcilutites (marls) with ocasional sandstones and conglomerates. In the central part of the depression, these conglomerates are consolidated, however the conglomerates in the northern part of the study area are unconsolidated and no residual landforms are found in this area.

The area lies within the temperate to maritime Mediterranean climate. The mean annual rainfall ranges from 471 to 670 mm (Porta *et al.* 1994). Its distribution is irregular, with high intensity rainstorms during autumn, after the dry season, with high erosive potential (Ramos and Porta 1993). Soils are highly calcareous. According to Soil Taxonomy (SSS 1996) they are classified as *Xerorthents typics*, *Xerochrepts calcixerollic*, *Xerochrepts petrocalcic* and *Xerochrepts fluventics*. Other categories as *Palexeralfs* and *Haploxeralfs* were also described and mapped in this area (Martínez-Casasnovas 1998). These have been truncated by hydric erosion and, at present, they are only relicts.



The main land use is vineyards. Other important uses are winter cereals, that alternate with vineyards. Natural vegetation and forest is confined at mountains, walls of large gully and abandoned agricultural parcels (very sloping areas of small parcels).

One of the main characteristics of the area is the dissection of the landscape by a dense and deep network of gullies. Inter-gully areas are usually undulating to rolling, with complex slopes. Large gullies are characterised by vertical sidewalls and are 10 or more meters deep in many places. The development of the gully system has been favoured by the cropping of vineyards. This culture strongly generates overland flow during high intensity precipitation events. Surplus runoff is usually concentrated in hillside ditches (called "rases"), that flow either into main drainage channels or directly into gullies. This favours formation of gullies at ditches or drainage outlet points and in this manner the gully network enlarges linearly. Then gullies grow by deepening in the unconsolidated Tertiary deposits. Mass movements on sidewalls produce parallel widening of gullies.

Within the parcels, ephemeral gullies are repetitively smoothed over by tillage, but the causes of these temporary appearances are not fought against. Continuous erosion removes part of the nutrient-rich top soil and could rapidly lead to diminishing the yield. Also other damages as the dissection of parcels and the difficulty for the traffic of machinery are produced ( Figure 5.4.2).

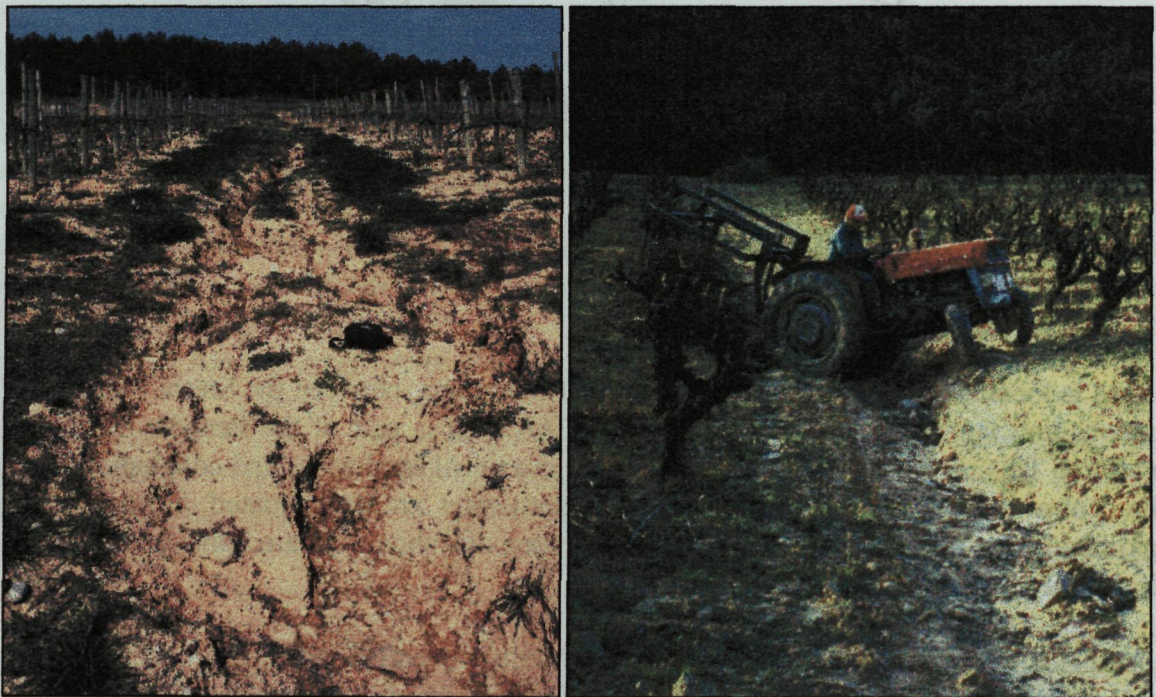


Figure 5.4.2. Development of gullies in vineyard parcels and damages.

The agricultural system suffered a substantial transformation since the advent of mechanisation in the 1950 decade. It has led to an ever increasing land degradation. Huge soil movements, needed to achieve parcels with longer vine rows and lower slope degrees, soil compaction caused by heavy machinery and the lack of appropriate conservation measures, have led to reactivate erosion processes.



In the long run, one can say that the sustainability of the present agricultural land uses and soils are threatened by erosion, and operational techniques to identify priority areas where to implement control measures are urgently needed.

### 5.4.2. Methods and materials

The research was carried out in two sample catchments of the Alt Penedès-Anoia region. Those are the Rierusa and Romani-Bribons catchments, with a size of about 25 km<sup>2</sup> each (Figure 5.4.1). They were selected because of their differences in landscape characteristics (Table 5.4.1).

**Table 5.4.1. Main relief and lithologic characteristics of the sample catchments.**

<p><b>Rierusa catchment</b> (High dissected valley – glaciais landscape unit)</p>	<p><b>Relief:</b> Typically complex slopes, rolling to hilly terrain (5-20% slope degree). Slopes are abruptly incised by deep gullies. Mean relieve amplitude 13-20 m (out of gullies). Drainage density 3.4 km<sup>-2</sup>. <b>Geoforms:</b> Rounded crests, gentle complex slopes (5-10% s. degree), sloping complex slopes (10-15% s. Degree), moderate steepy slopes (15-25% s. degree). <b>Lithology:</b> Tertiary marls, sandy marls and conglomerates (unconsolidated).</p>
<p><b>Romani – Bribons catchment</b> (Low dissected valley – glaciais landscape unit)</p>	<p><b>Relief:</b> Typically simple linear or concave slopes, gentle or moderate slope degree (1-10%). Relieve amplitude: between 6 m in rounded crests and 19 m in moderate degree slopes. Drainage density 3.2 km<sup>-2</sup>. <b>Geoforms:</b> Rounded crests and sloping concave slopes (5-10% s. Degree), glaciais and gentle slopes (1-5% s. Degree), moderate sloping to steepy slopes (5-20% s. degree), steepy and steepy slopes (20-45% s. degree), infilled valley bottoms. <b>Lithology:</b> Tertiary marls and sandy marls (unconsolidated).</p>

In those catchments, 40 vineyard parcels (20 with and 20 without evidences of gully erosion: ephemeral and small typical gullies 0.3 - 1 m deep and 0.5 - 1.5 m wide) were sampled. Those parcels were representative of the most frequent geoforms of the catchments as well as the typical vineyard management practices (for example orientation of the vine rows with respect to the maxim slope direction or the existence of levelling).

The elementary or basic spatial unit (b.s.u.) for data collection was the minimum support area required to drain to a point for water to flow in a concentrated manner and for a channel to form (Rieger 1993). Its boundary may differ from the parcel one.

For each sampling unit, a set of 23 potential factors, related to the development of gullies in vineyard parcels were sampled by means of field work, laboratory analysis and spatial data analysis by means of Geographic Information Systems (GIS). Table 5.4.2 summarises the sampled factors and the method of measurement or determination.

**Table 5.4.2. Relief, soil, and land use/management factors and sampling methods.**

Factor	Definition	Method of measurement
Relief position	Position of the b.s.u. on the slope (from the water divide to the foot of the slope), (°)	Field observations
Slope degree	Mean of the slope degree of the different slope segments of the b.s.u.	In the field: Measured with the clinometer on slope segments not larger than 30m In laboratory: DEM analysis (Function Curvature, ArcInfo-Grid™)
Slope contour form	Planform curvature of the b.s.u.	In the field: visual observation In laboratory: DEM analysis (Function Curvature, ArcInfo-Grid™)
Slope profile form	Profile curvature of the b.s.u.	In the field: visual observation In laboratory: DEM analysis (Function Curvature, ArcInfo-Grid™)
Exposition	Direction of the maximum slope	In the field: Magnetic needle In laboratory: DEM analysis (Function Curvature, ArcInfo-Grid™)
Area	Area of the b.s.u., (m <sup>2</sup> )	In laboratory: calculation by means of GIS
Length	Maximum length of the b.s.u., (m)	Field measurements
Variance of the slope degree	Variance of the slope degree within the b.s.u.	Automatic calculation by means of DEM analysis in raster based GIS
Relief amplitude	Maximum altitude difference within the b.s.u.	In laboratory: DEM analysis by means of GIS
Distance outlet b.s.u. – large gully	Distance between the outlet of the water flow of the b.s.u. and the nearest large gully, (m)	Measurement in field
Type of vineyard plantation	Traditional/Modern plantation	Field observations
Vine rows pattern	Orientation of the vine rows with respect to the maxim slope	Field observations
Conservation practices	Existence of conservation practices and type	Field observations
Levelling measures	Existence or non-existence of levelling measures	Determination in the field and consultation with the owner of the farm
Drainage channel	Existence drainage channels	Determination in the field
Soil texture	Soil texture of the Ap horizon	Laboratory analysis: sedimentation and sieve analysis of the samples.
Soil structure	Structure of the Ap horizon	Determination in the field
Organic matter content	Organic matter content of the Ap-Horizon, (m)	Laboratory analysis: Method: Walkley – Black
Soil surface crusting	Existence of crusts on the soil surface	Field observations
Soil depth	Soil depth up to a limiting layer	Field observations by drilling with an auger hole
Soil class		Soil Taxonomy (SSS 1975 and 1996)
Stoniness of the soil surface	Cover of the soil surface by stones, (%)	Determination in the field by means of key legends
Lithology	Type of parent material	Determination in the field by means of drilling with an auger hole

GIS was used for data acquisition and analysis. The vector-raster GIS software ArcInfo was used. The contour lines defining the topography of the parcels and the nearby area and

spot heights were digitized from large-scale topographic maps (1:5000 scale, 5m contour interval) produced by the Cartographic Institute of Catalonia. From these contour lines a Digital Elevation Model was produced by means of spatial linear interpolation. The drainage lines were computed using a program developed by Martínez-Casasnovas and Stuver (1998). This automatically reproduces the best fit stream network from a DEM as compared with the stream network drawn by aerial photo-interpretation or/and field observation.

The boundaries of the elementary sampling units were computed by applying the ArcGrid function *watershed* to the outlets of the main drainage line (Figure 5.4.3).

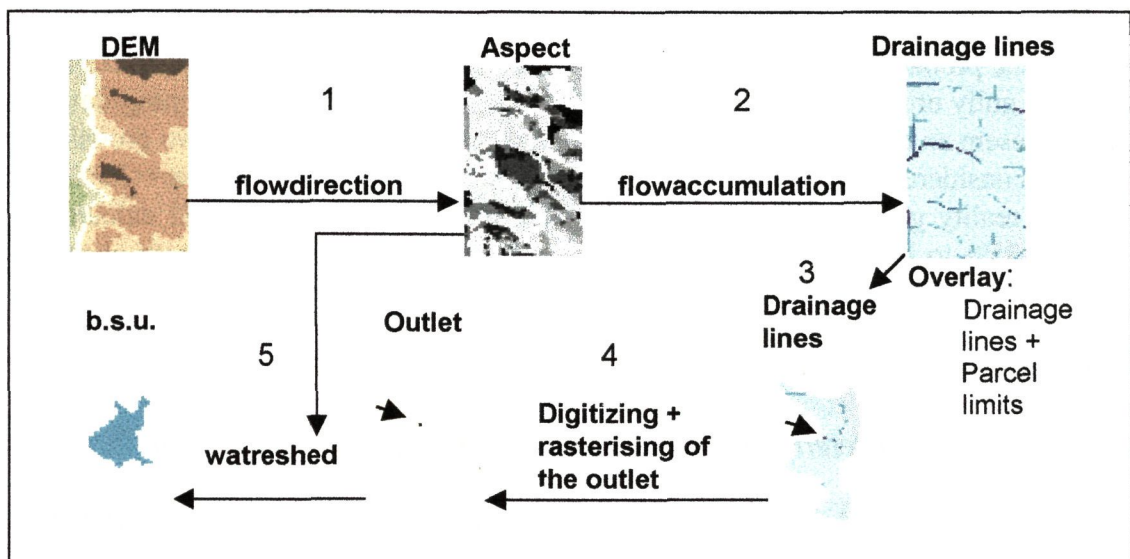


Figure 5.4.3. Automatic delineation of the basic information unit (b.s.u.).

Once the data about the 23 terrain and land use/management variables was collected, the statistical analysis of the individual factors was performed. The Student t-test was applied to quantitatively measured factors and the Chi-Square test was applied to qualitative factors. The objective of these tests was to determine the existence of significant differences between the data from parcels with observed gully erosion and from parcels without evidences of gully erosion.

The prediction of the existence of gully erosion at vineyard parcel level was based on a logistic regression of binary response (Hosmer and Lemeshow 1989, Press and Wilson 1978). The dependent variable is either the existence of gully erosion or the non-existence of gully erosion. The model computes the probability the affirmative statement occurs. The independent variables were the factors with a significant statistical relationship. In this respect, a multiple statistical analysis, stepwise regression, was performed to select the factors showing the highest relationship with gully erosion existence. The stepwise regression analysis performs an economic parameterisation since relationships among the variables are taken into account, avoiding a problem of multi-collineasation (Bahrenberg *et al.* 1992).

A logistic regression model of binary response (existence or non-existence of gully erosion) was computed using the selected variables. This model calculates the probability the dependent variable takes the affirmative value. Quantitative as well as qualitative variables are possible in the equation. The statistical package SAS<sup>TM</sup> was used to perform the mentioned statistical analysis.

The empiric-stochastical model was implemented in the Image Calculator of Idrisi, using a DEM of 25 m resolution. In this way, the probability of existence of gully erosion was computed in the entire study area. The 25 m resolution DEM was the most detailed available DEM for the entire study area. In this respect, the predictions based on the use of this DEM may produce default results.

The map of the probability of gully erosion existence was used to assess the predictions of the resulting gully erosion model. For this, 52 parcels, different from the training data set and that represent an area of 1.5% over the total study area, were sampled. Two probability levels were considered as threshold of the existence or not of gully erosion: <35% and >65%. If in reality gully erosion does not exist in a parcel the model must calculate a probability <35% to be considered as being correctly assessed. For parcels with observed gully erosion, a probability >65% is considered as a being correctly assessed.

### **5.4.3. Results and discussion**

#### **5.4.3.1. Gully erosion determining factors in the Alt Penedès – Anoia region**

Table 5.4.3 and Table 5.4.4 summarise the results of the statistical tests performed to determine the relationship between the considered terrain and land use/management factors and the existing gully erosion.

The slope and the rate of the spatial variability of the slope degree are the quantitatively measured factors that show a highest relationship with the existence of gully erosion at vineyard parcel level (\*\* P<0.01). The high spatial variability of the slope degree is associated with complex slope forms, that produce the concentration of runoff. This concentration of runoff, either in natural ways or drainage channels, favours the development of gullies.

**Table 5.4.3. Results of the t-test.**

	slope (°)	length (m)	Slope degree variance	area (m <sup>2</sup> )	sand (%)	v. fine sand + silt (%)	clay (%)	organic matter (%)	surface stoniness (%)	stoniness Ap (%)	soil depth (cm)
x ero	5.25	121.4	1.98	15569.1	28.95	48.12	22.93	1.46	4.45	12.17	65.35
x nero	2.96	144.6	1.46	148631	35.16	46.09	18.34	1.74	8.40	14.73	68.50
t-test	6.27	0.99	2.54	0.12	1.73	0.80	2.16	1.98	1.98	1.15	0.53
t-tab											
P=0.05	1.68	1.68	1.73	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	1.73	1.73	1.68
P=0.01	2.42	2.42	2.54	2.42	2.42	2.42	2.42	2.42	2.54	2.54	2.42
	**		**		*		*	*	*		

x ero - mean of the b.s.u. with gully erosion

x nero - mean of the b.s.u. without evidences of gully erosion

t-test - calculated value

t-tab - value of the t-table for the correspondent degrees of freedom

\* P < 0.05

\*\* P < 0.01

**Table 5.4.4. Results of the Chi-Square-test.**

	relief position	planform curvature	Profile curvature	Exposition	surface water concentration	vine rows pattern	drainage channel	levelling measures	structure	lithology
$\chi^2$ -test	6.09	12.16	7.83	0.50	24.12	3.75	8.56	16.5	4.45	6.23
$\chi^2$ tab										
P=0.05	9.49	5.99	5.99	3.84	3.84	7.81	3.84	3.84	7.81	5.99
P=0.01		9.21			6.63		6.63	6.63		
		**	*		**		**	**		*

$\chi^2$ -test - calculated value

$\chi^2$ -tab - value of the Chi-Square-table for the correspondent degrees of freedom

\* P < 0.05

\*\* P < 0.01

Some soil characteristics and the type of underlying materials also showed a relationship with the existence of gully erosion (\* P<0.05). Parcels with gullies showed a higher clay content, a lower organic matter, and lower sand or surface stoniness percentages than parcels without evidences of gully erosion.

The results indicate that topographic factors and management practices that favour the concentration of runoff can be pointed as the main factors associated with the existence of gully erosion in the study area. The improvement of soil characteristics as for example organic matter content or the establishment of a mulch, can reduce the risk of gully erosion, but more effective results would be achieved by designing appropriate drainage channel networks, avoiding an excessive runoff concentration.



5.4.3.2. Prediction of existing gully erosion

5.4.3.2.1. Selection of variables (stepwise regression)

The stepwise regression analysis determined the variables *slope steepness* and *planform curvature* as the highest related to the existence of gullies in vineyard parcels (Table 5.4.5).

This indicates the formation of gullies, is mainly determined by topographic factors. Most of the parcels with observed gullies have a concave contour form. On the other hand, in 35% of the parcels without gullies the water flows upon a convex slope form and upon a rectilinear slope form in the 45% of the cases.

These results agree with the findings of Richter (1965) and Oliveira (1990), who found that the majority of the gullies appear in concave slope forms, and thus the risk of gully erosion increases in these slope forms during intense rainfalls.

Table 5.4.5. Results of the Stepwise Regression.

Summary of Stepwise Procedure						
Step	Variable Entered	Removed	Number In	Score Chi-Square	Wald Chi-square	Pr> Chi-Square
1	SLOPE		1	8.1545		0.0043
2	ZX		2	5.1106		0.0238
3	ZCX		3	0.2853		0.0384
4		ZCX	2		3.6635	0.0556

Analysis of Maximum Likelihood Estimates							
Variable	DF	Parameter Estimates	Standard Error	Wald Chi-Square	Pr> Chi-Square	Standardized Estimate	Odds Ratio
INTERCPT	1	-3.2150	1.3296	5.8469	0.0156		
ZX	1	-3.0642	1.5173	4.0783	0.0434	-0.631298	0.047
SLOPE	1	1.0197	0.3660	7.7635	0.0053	1.058461	2.772

Association of Predicted Probabilities and Observed Responses			
Concordant	= 85.0%	Somers'D	= 0.782
Discordant	= 15.0%	Gamma	= 0.700
Tied	= 0.0%	Tau-a	= 0.357
(340 pairs)		c	= 0.850

The slope degrees of the parcels with gully erosion are higher than those without gullies. There is a wider evidence in the literature suggesting that the slope degree has a great significance in erosion processes. It includes not only sheet erosion but also linear erosion such as rill or gully forms. A higher slope degree increases the velocity of the runoff, that causes huge soil losses (Marks *et al.* 1992). López Bermudez and Albadalejo (1990) go a

step further in their interpretation because they infer that a high slope degree is responsible for an increase of runoff and for a tendency to flow concentration. Meyer *et al.* (1975) found that erosion caused by concentrated water flow increases about 20 times between a slope degree of 2 and 20%.

#### 5.4.3.2.2. *The logistic model*

The application of the logistic regression analysis of binary response, with slope steepness and planform curvature as independent variables, produced an equation that computes the probability gullies are found within vineyard parcels (Equation 5.4.1).

#### **Equation 5.4.1: Log-linear model**

$$\lg(p) = -1.8744 + 0.8246 * \text{SLOPE} - 3.2843 * X - 2.0361 * R$$

where

- p = Probability of existence of gully erosion
- SLOPE = Value of slope degree (degrees)
- R = Existence of a rectilinear planform curvature
- X = Existence of a convex planform curvature

The logit-transformation of Equation 5.4.1 gives Equation 5.4.2, from which the probability p can be computed.

#### **Equation 5.4.2: Logistic model**

$$p = \frac{\exp(-1.8744 + 0.8246 * \text{SLOPE} - 3.2843 * X - 2.0361 * R)}{1 + \exp(-1.8744 + 0.8246 * \text{SLOPE} - 3.2843 * X - 2.0361 * R)}$$

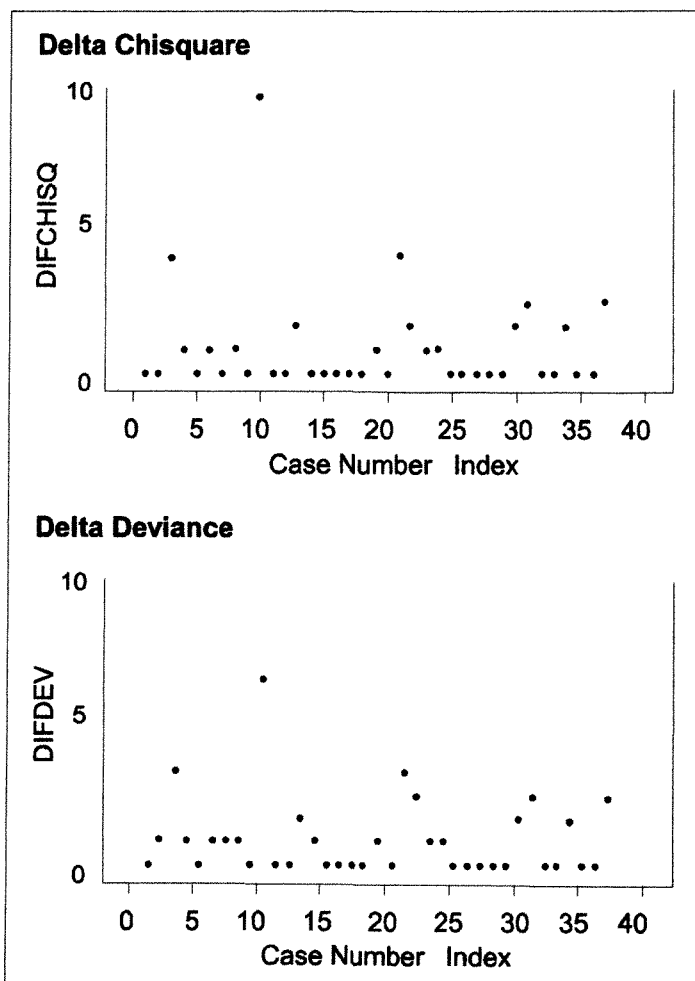
The probability can take values between 0-1, although for this discussion percentage values 0-100% are used.

In the case the planform curvature is concave, the convex form *X* and the rectilinear form *R* are set to 0. The probability therefore is only determined by the slope steepness. In the case the planform curvature is convex, the variable *R* is set to 0 and the variable *X* is set to 1. The opposite happens when a rectilinear slope exists: The variable *X* is set to 0 and the variable *R* is set to 1.

If the regression coefficient that accompanies a variable takes a positive value it means the variable contributes to increase the probability gullies are found in a parcel. This is true in the case of the variable slope steepness, with its positive partial regression coefficient of 0.8246. In front of the aforesaid, a negative coefficient -3.2843 and -2.0361 respectively accompany the variables *X* and *R*. Because of that, they are regarded as variables that

reduce the risk of gully erosion. In the case of a concave slope the probability of gully erosion existence depends on the slope degree. A concave slope is therefore considered as a factor directly responsible for gully erosion.

The model was statistically assessed by the Somers'D-Coefficient, which yielded a value of 0.782 (ranged from 0 to 1), and the Goodness-of-Fit test that produced a value of 0.8424. This means the model fits the reference data (Hosmer and Lemeshow 1989). A better adjustment can be achieved by eliminating ill-fitted observations, which substantially contribute to a disagreement between the training data and the predicted values. In the present case, only one observation was considered as ill-fitted and it was rejected (Figure 5.4.4).



**Figure 5.4.4.** The results of the DIFCHISQU and DIFDEV regression diagnostics. (Observation number 10 was rejected because the high delta Chi-square and deviation differences).

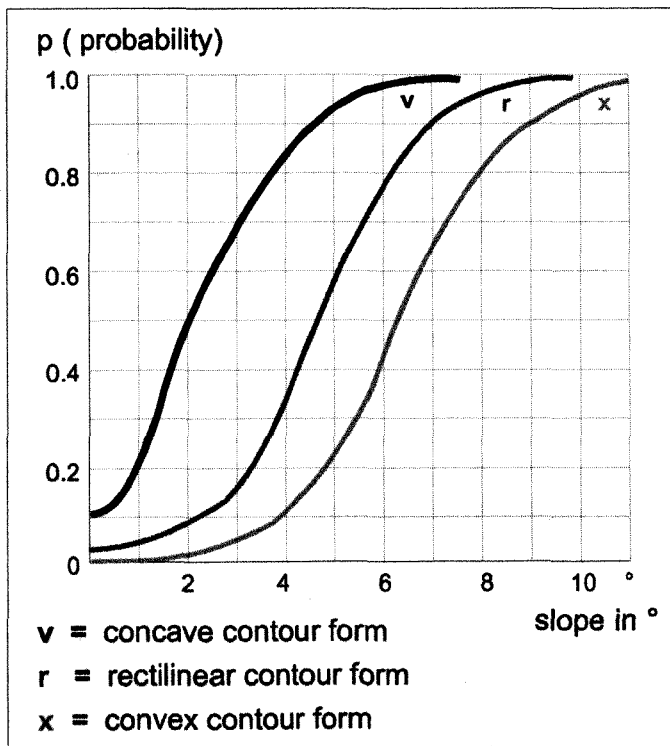
**5.4.3.3. Interval of confidence of the model**

The existence of gullies in vineyard parcels can be analysed with respect the variation of the independent variables in Equation 5.4.2. The probability increases with slope steepness and from convex to concave slope forms. Table 5.4.6 shows an analysis of threshold slope degrees for different slope planar forms and different probabilities.

**Table 5.4.6. Threshold slope degrees for different slope planar forms and probability levels.**

Probability (%)	Slope degree at convex slope forms (°)	Slope degree at rectilinear slope forms (°)	Slope degree at concave slope forms (°)
99	11.82	10.31	7.85
65	7.81	7.41	4.94
35	5.51	5.49	3.02
10	3.59	2.08	-

Vineyard parcels with convex contour form should have a slope degree of at least 11.82° to have 99% probability of development of gullies. In rectilinear slopes, a degree of 10.31° represents the threshold value for the same probability level, and in the case of the concave slopes this threshold value is 7.85°. For lower probability levels the same pattern exists (Figure 5.4.5).

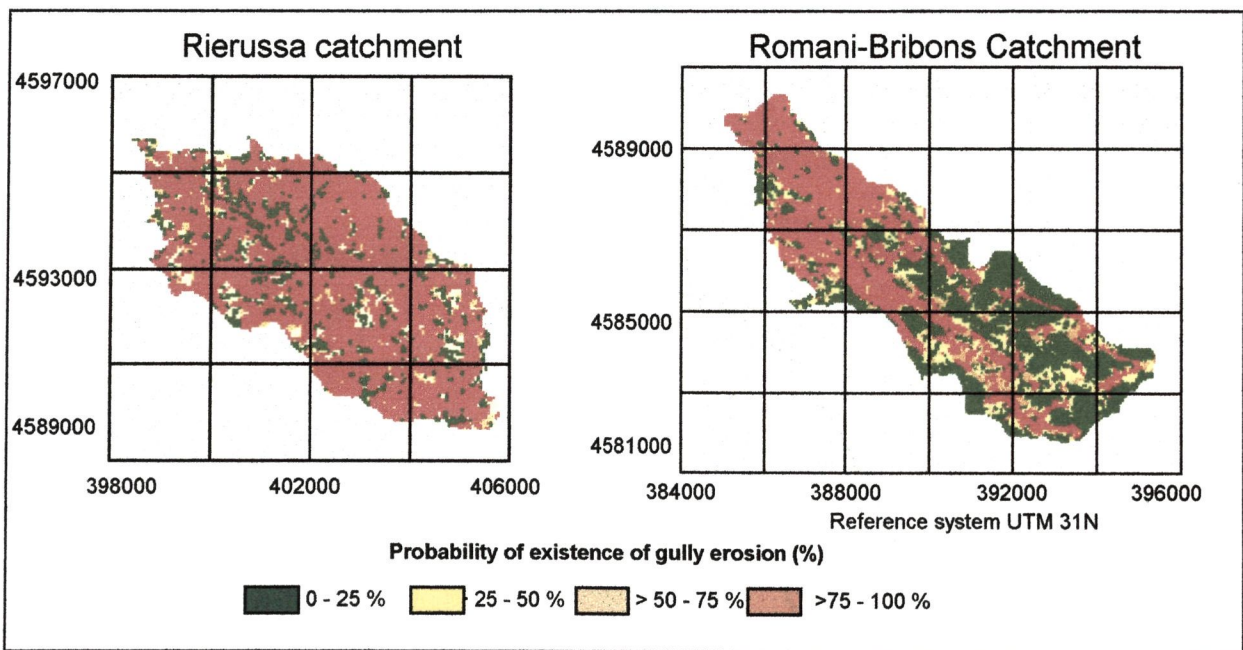


**Figure 5.4.5. Logistic curves for each slope contour form.**

As a general remark, logistic modelling may produce erroneous assessments when the independent values reach extreme values. In the present case, for slope degrees exceeding  $31^\circ$  the probability comes up to 100%, no matter what kind of slope contour form is concerned. Inaccuracies begin at a slope degree of  $15^\circ$ . In our study area, this should not be considered as a problem, since vineyards or other areas under cultivation only seldom occur at slopes above  $15^\circ$ . More attention must be paid when low slope degree values are considered. Slope degrees close to  $0^\circ$  produce probability values greater than 10% for parcels with concave contour forms. For other slope contour forms this problem can be ignored, but for concave contour forms the threshold slope degree below which an erroneous assessment can be made is about  $1^\circ$ .

**5.4.3.4. Application and validation of the model**

The logistic regression model (Equation 5.4.2) was applied to the Rierussa and Romani-Bribons catchment areas. For the spatial depiction of probability of the existing gully erosion in those areas, a raster slope degree map and a raster planar contour map of 25m resolution were used. Figure 5.4.6 shows the output probability map.



**Figure 5.4.6 .Probability of existence of gully erosion at vineyard parcels in the Rierussa and Romani-Bribons catchments (Alt Penedès-Anoia region).**

Parcels in the Rierussa catchment have a higher probability of existence of gully erosion. The existence of gullies is nearly everywhere possible. The main reasons are a relief with dominance of complex slopes and relative high slope degrees for agricultural uses without erosion control measures. On the other hand, in the Romani-Bribons catchment, only some areas show a high probability value. These are mainly located in the steep slopes associated to the residual planation surfaces of the adjacent piedmont landscape unit. The dissection of these landforms is controlled by Tertiary Conglomerats. However, the parts

of the slopes where calcilutites outcrop have a higher potential risk. Other extensive areas with low probability of gully existence are found in the Romani-Bribons catchment, as for example the alluvial areas of the Riera Bribons. Here, protective measures are not so essential as for the Rierussa catchment.

To assess the validity of the predictions made by the model, an error matrix was produced by comparison of reference data and predicted data (Table 5.4.7). The overall accuracy of the model is 84.6%. The high overall error of commission (39.5%) is mainly produced by parcels with probability values between 35-65%, which have not been classified in any of the established reference data categories. Probabilities between 35-65% are not usual, since the model tends to predict values close to 0 or 100% (non-existence or existence of gully erosion), and therefore are overvaluing the error. On the other hand, the overall error of omission can be considered as low (15.3%). In this case study, it mainly indicates parcels without gully erosion but with predicted gully erosion in the map. It should be considered as a permissive error, since it is saying that same parcels should need control measures when in reality the risk of gully erosion is low. A positive point of the predictive gully erosion model is that no errors of omission were found, that means existing gully erosion is always predicted as such.

**Table 5.4.7. Error matrix for the assessment of the existing gully erosion prediction in the Alt Penedès-Anoia region.**

Reference data	Predicted Data				Errors of Omission (%)
	Gully erosion $p > 65\%$	No determined $35 > p > 65\%$	No gully erosion $p < 35\%$	Total	
Gully erosion	26	0	0	26	0
No gully erosion	6	2	18	26	30.7
Total	32	2	18	52	
Errors of Comission (%)	18.7	100	0		
Overall accuracy = 84.6%					
Overall error of Comission = 39.5%					
Overall error of Omission = 15.3%					

The use of a lower resolution DEM for the application of the model to the entire study area, than the used for data acquisition, may produce default results. Complex micro-relief, that may led to concentration of runoff and development of gullies in some cases, is not reflected in the lower resolution DEM. In this cases, the application of the model would give erroneous predictions. Nevertheless, the use of the still detailed 25 m resolution DEM can be considered as useful in areas where a more generalised view of the existing probable gully erosion is needed for prioritisation of control planning at catchment level.

#### **5.4.4. Conclusions**

This paper presented a study of gully erosion determining factors and a methodological approach to model the probability of existence of gully erosion in vineyard parcels, using reference data from the Alt-Penedès-Anoia region (NE Spain).

The modelling of the existence of gully erosion in terms of probability can better support decision making on implementing preventive and control measures in intensive agricultural areas, where continuous tilling can mask the existence of gullies.

The proposed model is of an empiric-stochastical type. For other study areas, the methodological approach based on logistic regression is applicable. In this respect, the model increases its usefulness when the independent variables can be modelled by means of Geographical Information Systems (GIS). It will allow the automation of the application.

Regarding the results of the application of the model in the study area, under similar lithologic characteristics, topographical and management practices associated with water flow concentration showed the highest relationship with the existence of gully erosion at parcel level. The more complex slopes and the higher slope degrees the higher the probability of finding gullies in vineyard parcels. In this respect, the ranking of the probability of existence of gully erosion can be useful in the prioritisation of soil conservation planning at catchment level.

### 5.4.5. References

- Bahrenberg, G., E. Giese, and J. Nipper.** 1992. *Statistische Methoden in der Geographie. Vol. 2: Multivariate Statistik.* Teubner Studienbücher Geographie. Stuttgart.
- Crouch, R.J. and Blong, R.J.** 1989. Gully sidewall classification: methods and applications. *Zeitschr. F. Geomorphologie, N.F.*, 33 (3): 291-305.
- Donker, N.H.W. and M.C. J. Damen.** 1984. Gully system development and assessment of gully initiation risk in Miocene deposits near Daroca – Spain. *Zeitschr. F. Geomorphologie, N.F.*, Supplement-Bd 49: 37-50.
- Heede, H.** 1970. Morphology of gullies in the Colorado Rocky mountains. *Bulletin International Association Society of Hydrology*, 15: 42-50.
- Heede, H.** 1979. *Gully development and control.* USDA Forest Service Research Paper RM-169, Second edition. Fort Collins.
- Hill, J.** 1993. Monitoring land degradation and soil erosion in Mediterranean environments. *ITC Journal*, 4: 323-331.
- Hosmer, D.W. and S. Lemeshow.** 1989. *Applied logistic regression.* John Wiley and Sons, Inc. New York.
- Imeson, A.C. and Kwaad, F.J.P.M.** 1980, Gully types and gully prediction. *K.N.A.G. Geografisch Tijdschrift*, XVI (1980), 5: 430-441.
- Ireland, H. A., C.F. Sharpe and D.H. Eargle.** 1939. *Principles of gully erosion in the Piedmont of South Carolina.* US Department of Agriculture Technological Bulletin 63.
- Lafren, J.M., D.A. Watson, D.A. and T.G. Franti.** 1986. Ephemeral gully erosion. *Proceedings of the Fourth Federal Interagency Sedimentation Conference*, 23.-27. March, Las Vegas, pp. 3.29-3.37.
- López Bermúdez, F. and J. Albadalejo.** 1990. Factores ambientales de la degradación del suelo en el área mediterránea. In: *Degradación y Regeneración del suelo en condiciones ambientales mediterráneas*, J. Albadalejo, M.A. Stocking and E. Díaz (Editors), Murcia, pp.15-45.
- Marks, R., J.M. Müller, H. Leser, and H.J. Klink.** 1992. Anleitung zur Bewertung des Leistungsvermögens des Landschaftshaushaltes. *Forschungen zur deutschen Landeskunde*, Vol. 229. Selbstverlag, Trier.
- Martínez-Casasnovas, J.A.** 1998. *Suelos-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 (SIG) y Teledetección.* PhD Thesis (unpublished), University of Lleida, Lleida.
- Martínez-Casasnovas, J.A. and J. Stuiver.** 1998. Automatic delineation of drainage networks and elementary catchments from Digital Elevation Models. *ITC Journal*, (in press).
- Meyer, L.D., G.R. Foster, M.J.M. Romkens.** 1975. *Source of soil eroded by water from upland slopes.* U.S. Dep. Agr. Agric. Res. Serv. (ARS-S-40).



- Oliveira, M.A.T. De.** 1990. Slope Geometry and gully erosion development: Bananal, São Paulo, Brazil. *Zeitschr. Fur Geomorphologie, N.F.*, 34 (4): 423-434.
- Poesen, J.** 1989. Conditions for gully formation in the Belgian Loam Belt and some ways to control them. *Soil Technology Series*, 1: 39-52.
- Poesen, J. and G. Govers.** 1990. Gully Erosion in the Loam Belt of Belgium: Typology and Control Measures. In: *Soil Erosion on Agricultural Land*, J. Boardman, I.D.L. Foster and J.A. Dearing (Editors), John Wiley & Sons Ltd., pp: 513-530.
- Porta, J., M.C. Ramos and J. Boixadera.** 1994. Mechanical measures for runoff management and erosion control in the vineyards of North East Spain. In: *Conserving soil resources: European perspective*, Edited by R.J. Rickson, (Wallingford: CAB International), pp. 369-378.
- Press, S.J. and S. Wilson.** 1978. Choosing between Logistic Regression and Discriminant Analysis. *Journal of the American Statistical Association*, 73: 699-705.
- Ramos, M.C. and J. Porta.** 1993. Modelos de distribución espacio-temporal de las lluvias en la zona Mediterránea del Anioia-Penedés. Influencia en la sostenibilidad de los cultivos de la zona. *Ecología*, 7: 47-56.
- Ramos, M.C. and J. Porta.** 1994. Rainfall intensity and erosive potenciality in the NE Spain Mediterranean area. *Il Nuovo Cimento*, 17C, 3: 291-299.
- Richter, G.** 1965. *Bodenerosion, Schäden und gefährdete Gebiete in der Bundesrepublik Deutschland*. Gutachten vorgelegt vom Inst. f. Landekde, Selbstverlag d. Banst. f. Landeskde und Raumforschg, Bad Godesberg.
- Rieger, W.** 1993. Hydrological terrain features derived from a pyramid raster structure. In: *Application of Geographical Information Systems in hydrology and water resources management*, K Kovar and H P Natchnebel (editors), IAHS Publication num. 211, Oxfordshire., pp. 201-210.
- Seginer, I.** 1966. Gully development and sediment yield. *Journal of Hydrology*, 4: 236-253.
- SSS.** 1996. *Keys to Soil Taxonomy*. Seventh Edition 1996. U.S. Department of Agriculture – Natural Resources Conservation Service, Washington, D.C.
- Stocking, M.A.** 1980, Examination of the factors controlling gully growth. In *Assessment of erosion*, M. De Boodt and D. Gabriels (editors), John Wiley and Sons, Chichester, pp 505-520.
- Thompson, J.R.** 1964. Quantitative effect of watershed variables on rate of gully head advancement. *Transactions of the ASAE*, 7: 54-55.
- Uson, A.** 1998. *Medidas de control de erosión en suelos de viña de las comarcas Anioia-Alt Penedès (Barcelona): Efectividad y Viabilidad*. PhD Thesis, Universitat de Lleida, Lleida.
- Vandaele, K., J. Poesen, G. Govers and B. Van Wesemael.** 1996. Geomorphic threshold conditions for ephemeral gully incision. *Geomorphology*, 16: 161-173.

**Williams, A.R. and R.P.C. Morgan.** 1976. Geomorphological mapping applied to erosion evaluation. *Journal of Soil and Water Conservation*. Vol. 31 (4): 164-168.

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



## **6. Conclusiones generales**



## 6. Conclusiones generales

### 1) Sobre el uso de tecnologías de la información espacial como metodologías de investigación:

- La presente investigación ha permitido la ampliación de la aplicabilidad de las tecnologías de la información espacial (bases de datos, sistemas de información geográfica (SIG) y teledetección), al análisis del terreno y a la planificación territorial. En concreto, las aportaciones más significativas se centran en:
  - A) *Cartografía y modelización de los procesos de erosión por cárcavas y barrancos*: a) método de delineación automática de la red de drenaje a partir de modelos digitales de elevaciones (MDE) y SIG, b) estimación de las tasas de erosión por cárcavas y barrancos a partir de la superposición de MDE multitemporales y fotografías aéreas multitemporales mediante SIG, c) uso de los SIG y MDE como metodología para el desarrollo y aplicación de un modelo de probabilidad de existencia de cárcavas, y d) desarrollo y aplicación del modelo evolutivo de retroceso de las paredes de barrancos por medio de funciones de distancias basadas en costos en SIG.
  - B) *Análisis de geoformas y sistema de información de suelos*: a) método para automatizar la obtención de relaciones espaciales complejas como la adyacencia o vecindad de unidades cartográficas de mapas vectoriales mediante SIG y bases de datos, b) modelo conceptual de base de datos del sistema de información de suelos, basado en el modelo de suelo-paisaje, que refleja las relaciones suelo-paisaje subyacentes en la información de suelos adquirida, y reduce la complejidad de la estructura de datos.
  - C) *Análisis de la cubierta vegetal/ usos del territorio*: método para la expresión de la variabilidad del contenido de clases de cubierta vegetal/ usos de las unidades cartográficas de mapas o coberturas resultado de la clasificación de imágenes de satélite multiespectrales.
- Estas tecnologías de la información espacial constituyen la base metodológica de la presente investigación, y los métodos desarrollados son aplicables a otros casos de estudio.
- Se confirma la importancia de combinar técnicas de campo, laboratorio, con las técnicas de teledetección, para la adquisición de datos, y con las de SIG para su procesamiento con fines de modelización.

### 2) Sobre el análisis de las geoformas, distribución y propiedades de los suelos y procesos de erosión por cárcavas y barrancos en el área de estudio:

- La presente investigación confirma la importante influencia de la acción antrópica en la aceleración de los procesos de erosión actual, como consecuencia de una deforestación generalizada con roturación de tierras para la plantación de viña a partir del siglo XVI, con la introducción del sistema de contratos de *Rabassa Morta*.
- La aceleración de los procesos de erosión actual se ve particularmente reflejada en: a) el análisis de las propiedades de los suelos, con la puesta en superficie de materiales de horizontes subyacentes ricos en carbonato cálcico o de materiales originarios como

calcilutitas o areniscas, desfavorables para el uso agrícola sostenible, b) el análisis morfométrico y morfográfico de las geoformas, que muestra un modelado del paisaje que ha dado lugar a vertientes complejas y barrancos, con una alta densidad de cárcavas incipientes, y c) en el análisis de las tasas de erosión por cárcavas y barrancos, que han sido particularmente elevadas a partir de la mecanización de los cultivos y la eliminación de medidas de conservación de suelos y aguas a nivel de parcela.

- El estado de degradación de las propiedades de los suelos también se ve influido por actuaciones antrópicas como el diseño de nuevas parcelas para las plantaciones modernas de viña, mediante grandes movimientos de tierra, que actualmente parece un hecho imparable en el área de estudio.
- En este sentido, uno de los resultados principales de la presente investigación es el sistema de información de suelos desarrollado a nivel de toda el área de estudio, que sirve para conocer los principales tipos de suelos, su distribución espacial, sus propiedades y su comportamiento frente a la acción de los procesos erosivos y actuaciones antrópicas. Este sistema de información de suelos constituye, además, un primer paso sobre el cual realizar la cartografía a nivel más detallado de las áreas a transformar.

### **3) Temas para una futura investigación:**

Tras la presente investigación, dos temas principales han sido identificados como de interés para ser desarrollados en futuros proyectos de investigación:

- El desarrollo de una estructura de agregación de la información de suelos, que permita generalizar y especializar (facilitar un mayor nivel de detalle) la información. A este respecto ya hemos empezado a trabajar, realizando algunos estudios de base y dirigiendo algunos trabajos, tanto de cartografía de suelos más detallada en áreas modelo, a partir del modelo suelo-paisaje de la presente investigación, como sobre estructuras de la información para la generalización automatizada de bases de datos espaciales de suelos.
- El desarrollo de un modelo evolutivo de crecimiento de las cárcavas y barrancos según el enfoque metodológico propuesto, que permita predecir con mayor fiabilidad el crecimiento de cárcavas y barrancos. En este sentido, es necesaria la utilización de modelos digitales de elevaciones de mayor resolución espacial, mayor investigación en la búsqueda de los factores relacionados con la erosión por cárcavas y barrancos, y/o mayor investigación sobre la influencia de cada factor en los procesos de erosión.

**ANEJOS**





## **Anejo 1**

**Descripción de las unidades taxonómicas y principales características físico-químicas de los perfiles modales del Sistema de Información de Suelos del Alt Penedès - Anoia**



Las características descriptivas y propiedades físico-químicas de las unidades taxonómicas del sistema de información de suelos del Alt Penedès – Anoia, que se describen en el presente Anejo, recogen la variabilidad de las características y propiedades de los perfiles tipo pertenecientes a cada familia. Los perfiles tipo son perfiles con existencia real, mientras que los perfiles modales son perfiles con existencia conceptual elaborados a partir de los valores descriptivos y analíticos de los perfiles tipo.

Los valores cualitativos expresados en la descripción de las unidades taxonómicas son los valores más frecuentes de los perfiles tipo pertenecientes a cada familia. Los valores cuantitativos son valores promedio de la variable considerada en los perfiles tipo pertenecientes a cada familia.

Código de la Familia	APP1
Clasificación taxonómica	<i>Palexeralf Petrocálcico, arcillosa fina, mezclada (calcárea), térmica (SSS 1975 y 1996)</i> <i>Luvisol cálcico (FAO 1990)</i>
Secuencia de horizontes genéticos	Ap-Bt-Bkn-Bkm
Horizontes diagnóstico	Epipedión Óchrico, endopediones Argílico, Cálcico y Petrocálcico
Profundidad de los suelos	Muy profundos
Material originario	Detríticos terrigenos finos
Clase de drenaje	Bien drenados
Clase de infiltración	Rápida
Conductividad hidráulica	Moderada
CRAD	Moderada
Compactación (según densidad aparente)	Pueden presentar problemas al desarrollo radicular por alta densidad aparente del horizonte Bt (argílico)
Texturas desde la superficie	Moderadamente finas a finas
Elementos gruesos	Pocos o muy pocos
Localización	Glacis del Área de pie de monte
Pediones representativos	PM05
Perfil modal	APP1-1
Características diferenciales de la Familia:	
<p>El horizonte Ap tiene un espesor de 30-40 cm. Su textura es franco arcillosa y contiene pocos elementos gruesos (1-5%). Su contenido de carbonatos es muy bajo (4-5%) aunque presenta una alta respuesta al HCl 11%. La reacción es moderadamente básica (pH 7.9-8.3).</p> <p>La sección control se corresponde con el horizonte argílico. Tiene una textura arcillo limosa, con un contenido de arcilla del 41% y de arena del 15%. Contiene muy pocos elementos gruesos (&lt;1%). El contenido de carbonatos es bajo o muy bajo (1-7%). La mineralogía es mezclada, presentando una baja respuesta al HCl 11%. La reacción es medianamente o moderadamente básica (pH 7.7-8.0).</p> <p>Por debajo de la sección control se encuentra un horizonte cálcico, que presenta frecuentes acumulaciones de carbonatos (2-20% en volumen) en forma de rizoconcreciones. Por debajo de éste suele aparecer un horizonte petrocálcico muy fuertemente cementado.</p>	

## Perfil modal APP1-1

Horz. genético	Horz. diagnost.		Prof. Mínima (cm)	PH (1:2.5)	CE (1:5)	CaCO3 (%)	Mat. Orgánica (%)	Caliza activa (%)
Ap	Óchrico		37	8.1	0.1	16.8	1.0	6.3
Bt	Argílico		74	7.8	0.11	4.1		
Bkn	Cálcico		120	7.9	0.12	28.0		
Bkm	Petrocálcico		152					
Arena gruesa (%)	Arena fina (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Clase textural (USDA)		Hdad. -33 kpa	Hdad. -1500 kpa	Densidad aparente kg m <sup>-3</sup>
3.1	11.6	56.4	28.9	Franco arcillosa		23.1	13.2	1440
4.4	10.8	43.6	41.2	Arcillo limosa		26.1	16.9	1700
7	14.2	43.7	35.1	Franco arcillosa		21.4	11.7	1610

Código de la Familia	AHC1
Clasificación taxonómica	<i>Haploxeralf Cálculo, franca fina, carbonática, térmica</i> (SSS 1975 y 1996) <i>Luvisol cálcico</i> (FAO 1990)
Secuencia de horizontes genéticos	Ap-Btkn
Horizontes diagnóstico	Epipedión Óchrico, endopedión Argílico
Profundidad de los suelos	Profundos
Material originario	Detríticos terrigenos finos
Clase de drenaje	Bien drenados
Clase de infiltración	Moderadamente lenta
Conductividad hidráulica	Moderada
CRAD	Alta
Compactación (según densidad aparente)	Generalmente no presentan problemas al desarrollo radicular
Texturas desde la superficie	Medias
Elementos gruesos	Frecuentes
Localización	Glacis del Área de pie de monte
Pediones representativos	TL54
Perfil modal	AHC1-P1
Características diferenciales de la Familia:	
<p>El horizonte Ap tiene un espesor de 30 cm. Su textura es franco arcillo limosa y tiene frecuentes elementos gruesos (5-15%). El contenido de carbonatos es alto o muy alto (40%) y su reacción es moderadamente básica (pH 8.1).</p> <p>La sección control se corresponde con el horizonte argílico, que está recarbonatado. Presenta una textura franco arcillo limosa, con un contenido de arcilla del 32% y de arena del 50%. Tiene frecuentes elementos gruesos (5-15%). La mineralogía es carbonática. Presenta un contenido de carbonatos muy alto (46%), con acumulaciones muy abundantes (&gt;40% en volumen) en forma de nódulos y rizoconcrecciones. La reacción es moderadamente básica (pH 8.1).</p>	

## Perfil modal AHC1-P1

Horz. genético	Horz. diagnost.		Prof. Mínima (cm)	PH (1:2.5)	CE (1:5)	CaCO3 (%)	Mat. Orgánica (%)	Caliza activa (%)
Ap	Óchrico		30	8.1	0.10	40.0	0.5	5.1
Btkn	Argílico		100	8.1	0.10	32.0		
2Bkn	Cálculo		150	8.2	0.09	73.0		
Arena gruesa (%)	Arena fina (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Clase textural (USDA)	Hdad. -33 kpa	Hdad. -1500 kpa	Densidad aparente kg m <sup>3</sup>	
13.0	37.5	26.3	23.2	F. arcillo arenosa	18.0	8.1	1550	
24.4	26.1	17.3	32.2	F. arcillo arenosa	22.1	11.9	1570	
3.4	9.3	70.9	16.4	Franco limosa	21.6	7.4		

Código de la Familia	AHT1
Clasificación taxonómica	<i>Haploxeralf Típico, esquelética franca, mezclada (calcárea), térmica</i> (SSS 1975 y 1996) <i>Luvisol háptico</i> (FAO 1990)
Secuencia de horizontes genéticos	Ap-Ctk
Horizontes diagnóstico	Epipedión Óchrico, endopedión Argílico
Profundidad de los suelos	Poco profundos
Material originario	Detríticos terrígenos con gravas metamórficas
Clase de drenaje	Drenaje rápido
Clase de infiltración	Moderada
Conductividad hidráulica	Moderada
CRAD	Baja
Compactación (según densidad aparente)	Generalmente no presentan problemas para el desarrollo radicular
Texturas desde la superficie	Medias a moderadamente finas
Elementos gruesos	Frecuentes a muy abundantes
Localización	Glacis de pie de monte
Pediones representativos	PM08
Perfil modal	AHT1-P1
Características diferenciales de la Familia:	
El horizonte Ap tiene un espesor de 35 cm. Su textura es franca y tiene frecuentes elementos gruesos (5-15%). El contenido de carbonatos es medio (10-20%) y su reacción es moderadamente básica (pH 8.2).	
La sección control se corresponde con el horizonte argílico. Presenta una textura franco arcillo arenosa, con un contenido de arcilla del 27% y de arena del 62%. Tiene muy abundantes elementos gruesos (>70%). La mineralogía es mezclada. Presenta un contenido de carbonatos muy bajo (4%). Puede presentar acumulaciones de carbonatos en forma de cemento geopetal (<2% en volumen), disminuyendo en profundidad. La reacción es moderadamente básica (pH 8.2).	

**Perfil modal AHT1-P1**

Horz. genético	Horz. diagnost.		Prof. Mínima (cm)	PH (1:2.5)	CE (1:5)	CaCO3 (%)	Mat. Orgánica (%)	Caliza activa (%)
Ap	Óchrico		35	8.2	0.11	15.3	1.5	6.3
Btk	Argílico		100	8.2	0.10	4.0		
Arena gruesa (%)	Arena fina (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Clase textural (USDA)		Hdad. -33 kpa	Hdad. -1500 kpa	Densidad aparente kg m <sup>-3</sup>
21.6	26.2	33.9	18.3	Franca		21.3	8.2	1540
42.4	19.6	11.0	27.0	F.arcillo limosa		21.9	10.4	

Código de la Familia	IXP1
Clasificación taxonómica	<i>Xerochrept Petrocálcico, franca gruesa, mezclada, térmica</i> (SSS 1975 y 1996) <i>Calcisol pétrico</i> (FAO 1990)
Secuencia de horizontes genéticos	Ap-Bw-Bkm
Horizontes diagnóstico	Epipedión Óchrico, endopediones Cámbico y Petrocálcico
Profundidad de los suelos	Profundos
Material originario	Depósitos detriticos con gravas poligénicas
Clase de drenaje	Bien drenados
Clase de infiltración	Moderada
Conductividad hidráulica	Lenta
CRAD	Baja
Compactación (según densidad aparente)	Generalmente no presentan problemas al desarrollo radicular
Texturas desde la superficie	Medias
Elementos gruesos	Frecuentes
Localización	Plataformas residuales del área de pie de monte
Pedones representativos	ML27
Perfil modal	IXP1-P1
Características diferenciales de la Familia:	
<p>El horizonte Ap tiene un espesor de 30 cm. Es de textura franco limosa, con frecuentes elementos gruesos (5-15%). Presenta una respuesta muy alta al HCl 11% y su reacción es moderadamente básica (pH 7.9).</p> <p>La sección control del perfil (desde el limite inferior del Ap hasta el contacto con el horizonte petrocálcico a 85 cm) se corresponde con un horizonte Cámbico. Es de textura franca, con un contenido de arcilla del 15% y de arena del 39%. Tiene frecuentes elementos gruesos (5-15%). La mineralogía es mezclada y presenta una respuesta al HCl 11% muy alta. Tiene una reacción moderadamente básica (pH 8.1).</p> <p>Por debajo de la sección control aparece un horizonte petrocálcico muy fuertemente cementado.</p>	

## Perfil modal IXP1-P1

Horz. genético	Horz. diagnost.		Prof. Mínima (cm)	PH (1:2.5)	CE (1:5)	CaCO <sub>3</sub> (%)	Mat. Orgánica (%)	Caliza activa (%)
Ap	Óchrico		30	7.9	0.14	53.8	2.3	17.6
Bw	Cámbico		85	8.1	0.14	35.0		
Bkm	Petrocálcico		150					
Arena gruesa (%)	Arena fina (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Clase textural (USDA)	Hdad. -33 kpa	Hdad. -1500 kpa	Densidad aparente kg m <sup>-3</sup>	
7.2	20.5	55.6	16.7	Franco limosa	23.2	6.9	1520	
9.3	29.7	46.2	14.8	Franca	18.9	6.3	1570	





Código de la Familia	IXP2
Clasificación taxonómica	<i>Xerochrept Petrocálcico, franca, mezclada, térmica, superficial</i> (SSS 1975 y 1996) <i>Calcisol pétrico</i> (FAO 1990)
Secuencia de horizontes genéticos	Ap-Bkm
Horizontes diagnóstico	Epipedión Óchrnico, endopedión Petrocálcico
Profundidad de los suelos	Poco profundos
Material originario	Depósitos detriticos con gravas poligénicas
Clase de drenaje	Drenaje rápido
Clase de infiltración	Moderada
Conductividad hidráulica	Lenta
CRAD	Muy baja
Compactación (según densidad aparente)	No presentan problemas al desarrollo radicular
Texturas desde la superficie	Medias
Elementos gruesos	Frecuentes
Localización	Plataformas residuales del área de pie de monte
Pediones representativos	TL59
Perfil modal	IXP2-P1
Características diferenciales de la Familia:	
<p>La sección control se limita al horizonte Ap, que tiene un espesor de 40 cm y es de textura franca o franco limosa, con un contenido de arcilla entre 19-24% y de arena entre 24-42%. El contenido de carbonatos es muy alto (50%). La mineralogía es mezclada y presenta una respuesta muy alta al HCl 11%. Su reacción es moderadamente básica (pH 7.8-8.3).</p> <p>El horizonte subyacente es un petrocálcico muy fuertemente cementado.</p>	

## Perfil modal IXP2-P1

Horz. Genético	Horz. diagnost.		Prof. Mínima (cm)	PH (1:2.5)	CE (1:5)	CaCO <sub>3</sub> (%)	Mat. Orgánica (%)	Caliza activa (%)
Ap	Óchrnico		40	8.0	0.14	49.8	1.8	15.6
Bkm	Petrocálcico		75					
Arena gruesa (%)	Arena fina (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Clase textural (USDA)	Hdad. -33 kpa	Hdad. -1500 kpa	Densidad aparente kg m <sup>-3</sup>	
19.5	22.5	33.6	24.4	Franca	20.5	8.1	1400	

Código de la Familia	IXF1
Clasificación taxonómica	<i>Xerochrept Fluvéntico, limosa fina, mezclada (calcárea), térmica</i> (SSS 1975 y 1996) <i>Calcisol háplico</i> (FAO 1990)
Secuencia de horizontes genéticos	Ap-Bkn; Ap-Bkn-2Crkn
Horizontes diagnóstico	Epipedión Óchrico, endopedión Cálxico
Profundidad de los suelos	Profundos o muy profundos
Material originario	Detríticos terrigenos finos
Clase de drenaje	Bien drenados
Clase de infiltración	Moderada
Conductividad hidráulica	Lenta
CRAD	Muy alta
Compactación (según densidad aparente)	Generalmente no presentan problemas al desarrollo radicular
Texturas desde la superficie	medias a moderadamente finas
Elementos gruesos	Pocos
Localización	Vertientes de pendiente suave y fondos de valle
Pediones representativos	PM15 (suelos profundos) y PP39 (suelos muy profundos)
Perfil modal	IXF1-P1, IXF1-P2
Características diferenciales de la Familia:	
<p>El horizonte Ap tiene un espesor de 30-45 cm. Es de textura franca y tiene pocos elementos gruesos (1-5%). Tiene un contenido de carbonatos moderadamente alto o alto (22-39%) y presenta una respuesta muy alta al HCl 11%. La reacción es moderadamente básica (pH 8.0-8.2).</p> <p>La sección control del perfil (desde el límite inferior del Ap hasta 1 m) lo constituye típicamente un horizonte cálcico, con frecuentes acumulaciones de carbonatos en forma de nódulos (2-10% en volumen), aumentando en profundidad. Es de texturas franco limosa o franco arcillo limosa, con un contenido de arcilla entre 18-22% y de arena entre 11-13%. La mineralogía es mezclada y presenta una respuesta al HCl 11% muy alta. El contenido de carbonatos es moderadamente alto o alto (25-35%). La reacción es moderadamente básica (pH 8.0-8.2). Presenta carácter fluvéntico (contenido de 0.36% de carbono orgánico a 125 cm).</p> <p>En ocasiones el material subyacente, por debajo de los 120 cm, son calcilititas, de texturas Franco arcillo limosas, que presentan frecuentes acumulaciones de carbonatos en forma de nódulos.</p>	

#### Perfil modal IXF1-P1

Horz. genético		Horz. diagnost.		Prof. Mínima (cm)	PH (1:2.5)	CE (1:5)	CaCO <sub>3</sub> (%)	Mat. Orgánica (%)	Caliza activa (%)
Ap		Óchrico		37	8.1	0.13	30.4	1	10.0
Bkn		Cálxico		160	8.1	0.13	31.8	0.6	
Arena gruesa (%)	Arena fina (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Clase textural (USDA)		Hdad. -33 kpa	Hdad. -1500 kpa	Densidad aparente kg m <sup>-3</sup>	
3.4	32.3	46.5	17.8	Franca		20.6	7.7	1630	
1.1	10.2	67.4	21.3	Franco limosa		22.7	8.6	1620	

Perfil modal IXF1-P2

Horz. genético		Horz. diagnost.		Prof. Mínima (cm)	PH (1:2.5)	CE (1:5)	CaCO3 (%)	Mat. Orgánica (%)	Caliza activa (%)
Ap		Óchrico		37	8.1	0.13	30.4	1	10.0
Bkn		Cálcico		120	8.1	0.13	31.8	0.6	
Crkn		Cálcico		150					
Arena gruesa (%)	Arena fina (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Clase textural (USDA)		Hdad. -33 kpa	Hdad. -1500 kpa	Densidad aparente kg m <sup>-3</sup>	
3.4	32.3	46.5	17.8	Franca		20.6	7.7	1630	
1.1	10.2	67.4	21.3	Franco limosa		22.7	8.6	1620	
				F. arcillo limosa (prueba previa)					

Código de la Familia	IXC1
Clasificación taxonómica	<i>Xerochrept Calcixeróllico, franca fina, mezclada, térmica</i> (SSS 1975 y 1996) <i>Calcisol háplico</i> (FAO 1990)
Secuencia de horizontes genéticos	Ap-Bkn-2Crkn
Horizontes diagnóstico	Epipedión Óchrnico y endopedión Cálculo
Profundidad de los suelos	Muy profundos
Material originario	Detríticos terrigenos finos o Calcilutitas
Clase de drenaje	Bien drenados
Clase de infiltración	Moderada
Conductividad hidráulica	Lenta
CRAD	Muy alta
Compactación (según densidad aparente)	Pueden presentar problemas para el desarrollo radicular por debajo del horizonte Ap
Texturas desde la superficie	Medias
Elementos gruesos	Pocos
Localización	Vertientes de pendiente suave y terrazas
Pediones representativos	PM06 (suelos muy profundos) y PM07 (suelos profundos o moderadamente profundos)
Perfil modal	IXC1-P1 y IXC1-P2
Características diferenciales de la Familia:	
<p>El horizonte Ap tiene un espesor de 30-50 cm. Es de textura franca, con pocos elementos gruesos (1-5%). El contenido de carbonatos es de medio a alto (12.5-38%) y presenta una respuesta muy alta al HCl 11%. La reacción es moderadamente básica (pH 7.8-8.4).</p> <p>La sección control del perfil (desde el límite inferior del Ap hasta 1 m o hasta el contacto paralítico a 60 cm) la constituye un horizonte cálcico, que presenta frecuentes acumulaciones de carbonatos en forma de nódulos (2-20% en volumen). Es de textura franco limosa, con un contenido de arcilla de 19-31% y de arena entre 24-32%. Tiene pocos elementos gruesos (1-5%). La mineralogía es mezclada, presentando una respuesta muy alta al HCl 11%. El contenido de carbonatos es moderadamente alto o alto (24-40%). La reacción es medianamente básica o ligeramente alcalina (pH 7.5-8.5).</p> <p>El horizonte subyacente son calcilutitas, que presentan frecuentes acumulaciones de carbonatos en forma de nódulos (2-20% en volumen). Su textura es Franco arcillo limosa. Tiene un alto contenido de carbonatos (40%) y su reacción es ligeramente alcalina (pH 8.7).</p>	

#### Perfil modal IXC1-P1

Horz. genético	Horz. Diagnost.		Prof. Mínima (cm)	PH (1:2.5)	CE (1:5)	CaCO3 (%)	Mat. Orgánica (%)	Caliza activa (%)
Ap	Óchrnico		40	8.1	0.14	30.9	1.1	12.7
Bkn	Cálculo		165	8.1	0.14	32.7		
Arena gruesa (%)	Arena fina (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Clase textural (USDA)	Hdad. -33 kpa	Hdad. -1500 kpa	Densidad aparente kg m <sup>-3</sup>	
5.6	27.8	45.3	21.3	Franca	23.0	7.6	1540	
3.1	23.6	50.6	22.7	Franco limosa	26.3	8.5	1700	

## Perfil modal IXC1-P2

Horz. genético	Horz. Diagnost.		Prof. Mínima (cm)	PH (1:2.5)	CE (1:5)	CaCO <sub>3</sub> (%)	Mat. Orgánica (%)	Caliza activa (%)
Ap	Óchrico		40	8.1	0.14	30.9	1.1	12.7
Bkn	Cálcico		80	8.1	0.14	32.7		
Crkn	Cálcico		150	8.2	0.21	40.0		
Arena gruesa (%)	Arena fina (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Clase textural (USDA)		Hdad. -33 kpa	Hdad. -1500 kpa	Densidad aparente kg m <sup>-3</sup>
5.6	27.8	45.3	21.3	Franca		23.0	7.6	1540
3.1	23.6	50.6	22.7	Franco limosa		26.3	8.5	1700
				F. arcillo limosa (prueba previa)				

Código de la Familia	IXC2
Clasificación taxonómica	<i>Xerochrept Calcixeróllico, esquelético arenosa, carbonática, térmica</i> (SSS 1975 y 1996) Calcisol háplico (FAO 1990)
Secuencia de horizontes genéticos	Ap-Bk <sub>1</sub> -Bk <sub>2</sub>
Horizontes diagnóstico	Epipedión Óchrnico y endopedión Cálxico
Profundidad de los suelos	Poco profundos
Material originario	Depósitos detríticos con gravas poligénicas
Clase de drenaje	Drenaje rápido
Clase de infiltración	Moderada
Conductividad hidráulica	Lenta
CRAD	Muy baja
Compactación (según densidad aparente)	No presentan problemas para el desarrollo radicular
Texturas desde la superficie	Medias a gruesas
Elementos gruesos	Abundantes o muy abundantes
Localización	Terrazas aluviales
Pediones representativos	ML22
Perfil modal	IXC2-P1
Características diferenciales de la Familia:	
<p>El horizonte Ap tiene un espesor de 30-40 cm. Es de textura franca, con muy frecuentes elementos gruesos (16-35%). El contenido de carbonatos es de medio a alto (16-40%). Presenta una respuesta muy alta al HCl 11%. La reacción es moderadamente básica o ligeramente alcalina (pH 8.0-8.6).</p> <p>La sección control del perfil (desde el límite inferior del Ap hasta 1 m) la constituye un horizonte con abundantes o muy abundantes elementos gruesos (&gt;36%), y presenta frecuentes acumulaciones de carbonatos (2-20% en volumen) en forma de cemento geopetal. La fracción fina es de textura franco arenosa o arenosa, con un contenido de arcilla del 7-9.5% y de arena de 36-70%. La mineralogía es carbonática. El contenido de carbonatos es muy alto (41-53%). Presenta una reacción moderadamente básica o ligeramente alcalina (pH 8.0-8.8).</p>	

## Perfil modal IXC2-P1

Horz. genético	Horz. diagnost.		Prof. Mínima (cm)	PH (1:2.5)	CE (1:5)	CaCO <sub>3</sub> (%)	Mat. Orgánica (%)	Caliza activa (%)
Ap	Óchrnico		30	8.3	0.13	30.1	0.75	9.2
Bk1	Cálxico		70	8.0	0.10	41.0		
Bk2	Cálxico		130	8.6	0.12	53.0		
Arena gruesa (%)	Arena fina (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Clase textural (USDA)	Hdad. -33 kpa	Hdad. -1500 kpa	Densidad aparente kg m <sup>-3</sup>	
9.1	33.5	46.3	11.1	Franca	17.4	17.9	1450	
36.3	25.2	29.3	9.2	Franco arenosa	8.9	5.9		
69.3	20.5	3.2	7.0	Arenosa	8.3	2.1		

Código de la Familia	IXC3
Clasificación taxonómica	<i>Xerochrept Calcixeróllico, esquelética franca, mezclada, térmica</i> (SSS 1975 y 1996) <i>Calcisol háplico</i> (FAO 1990)
Secuencia de horizontes genéticos	Ap-Bk-C
Horizontes diagnóstico	Epipedión Óchrnico y endopedión Cálcico
Profundidad de los suelos	Poco profundos
Material originario	Detríticos terrígenos con gravas metamórficas
Clase de drenaje	Drenaje rápido
Clase de infiltración	Moderada
Conductividad hidráulica	Moderada
CRAD	Muy baja
Compactación (según la densidad aparente)	No presentan problemas para el desarrollo radicular en el horizonte Ap
Texturas desde la superficie	Moderadamente gruesas a gruesas
Elementos gruesos	Abundantes o muy abundantes
Localización	Terrazas asociadas cauces secundarios con origen en la zona norte de la Sierra Prelitoral
Pediones representativos	PM03
Perfil modal	IXC3-P1
Características diferenciales de la Familia:	
<p>El horizonte Ap tiene un espesor de 35 cm. Es de textura franco arenosa, con muy frecuentes elementos gruesos (16-35%). Tiene un contenido de carbonatos medio (16%) y la respuesta al HCl 11% es alta. La reacción es moderadamente básica (pH 8.0).</p> <p>La sección control del perfil (desde el límite inferior del Ap hasta 1m) está constituida por una capa de gravas (&gt;70% de elementos gruesos), que en su parte superior presenta acumulaciones de carbonatos en forma de cemento geopetal. La textura de la fracción fina es franco arenosa o arenosa, con contenidos de arcilla entre 6.5-13.5% y de arena de 62.5-91%. La mineralogía es mezclada, presentando una respuesta muy alta al HCl 11%. El contenido de carbonatos varía entre moderadamente alto (22.5% en la parte superior de la sección control) a muy bajo (1.5-2.5%) en la parte inferior. Presenta una reacción moderadamente básica (pH 7.9-8.1).</p> <p>Por debajo de la sección control aparece un horizonte con gravas, de textura arenosa en la fracción fina, que presenta una baja respuesta al HCl 11%.</p>	

## Perfil modal IXC3-P1

Horz. genético	Horz. diagnóst.		Prof. Mínima (cm)	PH (1:2.5)	CE (1:5)	CaCO <sub>3</sub> (%)	Mat. Orgánica (%)	Caliza activa (%)
Ap	Óchrnico		35	8.0	0.10	16.6	0.9	5.8
Bk	Cálcico		68	8.1	0.10	22.5		
C			160	8.0	0.17	2.0		
Arena gruesa (%)	Arena fina (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Clase textural (USDA)	Hdad. -33 kpa	Hdad. -1500 kpa	Densidad aparente kg m <sup>-3</sup>	
25.5	31.1	30.0	13.4	Franco arenosa	17.1	8.0	1450	
38.5	24.0	24.2	13.3	Franco arenosa	16.9	9.1		
71.2	19.9	2.3	6.6	Arenosa	6.9	4.9		

Código de la Familia	IXC4
Clasificación taxonómica	<i>Xerochrept Calcixeróllico, franca gruesa, carbonática, térmica</i> (SSS 1975 y 1996) <i>Calcisol háptico</i> (FAO 1990)
Secuencia de horizontes genéticos	Ap-Bkn
Horizontes diagnóstico	Epipedión Óchrico y endopedión Cálculo
Profundidad de los suelos	Poco profundos
Material originario	Detríticos terrigenos finos
Clase de drenaje	Bien drenados
Clase de infiltración	Moderada
Conductividad hidráulica	Moderada
CRAD	Muy alta
Compactación (según densidad aparente)	Generalmente no presentan problemas al desarrollo radicular
Texturas desde la superficie	Medias
Elementos gruesos	Pocos
Localización	Divisorias redondeadas del Área de vertientes y barrancos
Pedones representativos	PM13
Perfil modal	IXC4-P1
Características diferenciales de la Familia:	
<p>El horizonte Ap tiene un espesor de 30-40 cm. Es de textura franco limosa, con pocos elementos gruesos (1-5%). Tienen un alto contenido de carbonatos (43-70%), presentando una respuesta al HCl 11% muy alta. La reacción es moderadamente básica (pH 8.2-8.3).</p> <p>La sección control del perfil (desde el límite inferior del Ap hasta 1 m) está constituida por un horizonte cálcico, que presenta acumulaciones de carbonatos en forma de nódulos muy abundantes (&gt;40% en volumen). Tiene una textura franco limosa, con contenidos de arcilla del 15% y de arena del 12-13%. La mineralogía es carbonática. El contenido de carbonatos es muy alto (45-80%). La reacción es moderadamente básica (pH 8.3-8.4).</p>	

## Perfil modal IXC4-P1

Horz. Genético		Horz. diagnost.		Prof. Mínima (cm)	PH (1:2.5)	CE (1:5)	CaCO <sub>3</sub> (%)	Mat. Orgánica (%)	Caliza activa (%)
Ap		Óchrico		40	8.2		56.5	1.0	27.8
Bkn		Cálculo		160	8.3		62.5		
Arena gruesa (%)	Arena fina (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Clase textural (USDA)		Hdad. -33 kpa	Hdad. -1500 kpa	Densidad aparente kg m <sup>-3</sup>	
6.1	15.4	63.1	15.5	Franco limosa		24.0	6.8	1415	
3.0	9.5	72.6	15.0	Franco limosa		28.0	6.1	1510	



Código de la Familia	IXC5
Clasificación taxonómica	<i>Xerochrept Calcixeróllico, arenosa, mezclada, térmica</i> (SSS 1975 y 1996) <i>Calcisol háptico</i> (FAO 1990)
Secuencia de horizontes genéticos	Ap-Bk
Horizontes diagnóstico	Epipedión Óchrico y endopedión Cálculo
Profundidad de los suelos	Profundos
Material originario	Areniscas incoherentes y conglomerados sin cementar
Clase de drenaje	Drenaje rápido
Clase de infiltración	Moderada
Conductividad hidráulica	Lenta
CRAD	Baja
Compactación	No presentan problemas al desarrollo radicular
Texturas desde la superficie	Moderadamente gruesas a gruesas
Elementos gruesos	Pocos
Localización	Divisorias (crestas) del Área de vertientes y barrancos
Pediones representativos	ML29
Perfil modal	IXC5-P1
Características diferenciales de la Familia:	
<p>El horizonte Ap tiene un espesor de 40 cm. Es de textura franco arenosa, con pocos elementos gruesos (1-5%). Tiene un contenido de carbonatos alto (20-30%). Presenta una respuesta muy alta al HCl 11%. La reacción es moderadamente básica (pH 8.1).</p> <p>La sección control del perfil (desde el límite inferior del Ap hasta 1m) está constituida por un horizonte cálcico, que presenta frecuentes acumulaciones (2-20% en volumen) de carbonatos en forma de nódulos y edafotubos. Tiene una textura arenosa. La mineralogía es mezclada, con una muy alta respuesta al HCl 11%. El contenido de carbonatos es moderadamente alto (20-30%). La reacción es moderadamente básica.</p> <p>Por debajo de la sección control suele aparecer un horizonte de gravas sin cementar, que también presenta frecuentes acumulaciones de carbonatos (2-20% en volumen) en forma de nódulos y revistiendo los elementos gruesos.</p>	

#### Perfil modal IXC5-P1

Horz. Genético	Horz. diagnost.		Prof. Mínima (cm)	PH (1:2.5)	CE (1:5)	CaCO <sub>3</sub> (%)	Mat. Orgánica (%)	Caliza activa (%)
Ap	Óchrico		40	8.1	0.10	22.7	1.0	7.2
Bk	Cálculo		125	8.0	0.17	29.6		
Arena gruesa (%)	Arena fina (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Clase textural (USDA)		Hdad. -33 kpa	Hdad. -1500 kpa	Densidad aparente kg m <sup>-3</sup>
27.3	38.4	22.1	12.2	Franca		15.3	8.5	1480
60.3	30.4	3.5	5.8	Arenosa		7.0	4.3	

Código de la Familia	IXC6
Clasificación taxonómica	<i>Xerochrept Calcixeróllico, franca gruesa, mezclada, térmica</i> (SSS 1975 y 1996) <i>Calcisol háplico</i> (FAO 1990)
Secuencia de horizontes genéticos	Ap-Bkn, Ap-Bkn-Bk, Ap-Bkn-Cr (calclutitas)
Horizontes diagnóstico	Epipedión Óchrico y endopedión Cálculo
Profundidad de los suelos	Profundos a muy profundos
Material originario	Detríticos terrigenos finos con gravas poligénicas
Clase de drenaje	Bien drenados
Clase de infiltración	Moderadamente lenta
Conductividad hidráulica	Lenta
CRAD	Moderada a muy alta
Compactación (según densidad aparente)	Generalmente no presenta problemas al desarrollo radicular
Texturas desde la superficie	Medias a gruesas
Elementos gruesos	Pocos a muy abundantes
Localización	Vertientes de pendiente suave a moderada
Pediones representativos	PM10 (suelos moderadamente profundos), MBC41 (suelos profundos) y PP33 (suelos muy profundos)
Perfil modal	IXC6-P1, IXC6-P2 y IXC6-P3
Características diferenciales de la Familia:	
<p>El horizonte Ap tiene un espesor de 30-50 cm. Es de textura franca, con pocos elementos gruesos (1-5%). Tiene un contenido de carbonatos de moderadamente alto a alto (22-38%). La respuesta al HCl 11% es muy alta y presenta una reacción moderadamente básica a ligeramente alcalina (pH 7.8-8.7).</p> <p>La sección control del perfil (desde el límite superior del Ap hasta un contacto paralítico a 80 cm o hasta 1 m) está constituida por un horizonte cálcico, que presenta una acumulación secundaria de carbonatos en forma de nódulos y/o cemento geopetal. Tiene un contenido frecuente de elementos gruesos (5-15% por término medio). La textura es franca, con un contenido de arcilla menor del 16% y de arena del 39%. La mineralogía es mezclada y presenta una respuesta al HCl 11% muy alta. El contenido de carbonatos es moderadamente alto o alto (25-39%). Presenta una reacción moderadamente básica (pH 7.9-8.5).</p> <p>Por debajo de este horizonte puede aparecer o bien un horizonte cálcico con elementos gruesos muy abundantes (&gt;70%) y acumulaciones de calcio en forma de cemento geopetal (20-40% en volumen) o bien calclutitas, no salinas (CE 1:5 = 0.16), de textura Franca, con un contenido de carbonatos medio o moderadamente alto (18-29%).</p>	

#### Perfil modal IXC6-P1

Horz. genético	Horz. diagnost.		Prof. Mínima (cm)	PH (1:2.5)	CE (1:5)	CaCO <sub>3</sub> (%)	Mat. Orgánica (%)	Caliza activa (%)
Ap	Óchrico		40	8.3	0.13	31.3	0.9	8.1
Bkn	Cálculo		165	8.2	0.11	34.4		
Arena gruesa (%)	Arena fina (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Clase textural (USDA)	Hdad. -33 kpa	Hdad. -1500 kpa	Densidad aparente kg m <sup>-3</sup>	
5.3	26.9	46.1	21.7	Franca	19.7	8.2	1575	
3.8	35.4	44.7	16.1	Franca	20.0	7.0	1555	

## Perfil modal IXC6-P2

Horz. genético	Horz. diagnost.		Prof. Mínima (cm)	PH (1:2.5)	CE (1:5)	CaCO3 (%)	Mat. Orgánica (%)	Caliza activa (%)
Ap	Óchrico		40	8.3	0.13	31.3	0.9	8.1
Bkn	Cálcico		80	8.2	0.11	34.4		
Cr			140	8.6	0.16	28.8		
Arena gruesa (%)	Arena fina (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Clase textural (USDA)		Hdad. -33 kpa	Hdad. -1500 kpa	Densidad aparente kg m <sup>3</sup>
5.3	26.9	46.1	21.7	Franca		19.7	8.2	1575
3.8	35.4	44.7	16.1	Franca		20.0	7.0	1555
7.4	36.7	36.7	19.2	Franca				

## Perfil modal IXC6-P3

Horz. genético	Horz. diagnost.		Prof. Mínima (cm)	PH (1:2.5)	CE (1:5)	CaCO3 (%)	Mat. Orgánica (%)	Caliza activa (%)
Ap	Óchrico		40	8.3	0.13	31.3	0.9	8.1
Bkn	Cálcico		80	8.2	0.11	34.4		
Bk	Cálcico		135	8.2	0.10	38.0		
Arena gruesa (%)	Arena fina (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Clase textural (USDA)		Hdad. -33 kpa	Hdad. -1500 kpa	Densidad aparente kg m <sup>3</sup>
5.3	26.9	46.1	21.7	Franca		19.7	8.2	1575
3.8	35.4	44.7	16.1	Franca		20.0	7.0	1555
65.2	23.8	6.2	4.8	Arenosa		7.0	4.3	

Código de la Familia	IXC7
Clasificación taxonómica	<i>Xerochrept Calcixeróllico, limosa fina, carbonática, térmica</i> (SSS 1975 y 1996) <i>Calcisol háptico</i> (FAO 1990)
Secuencia de horizontes genéticos	Ap-Bkn o Ap-Bkn-Ckn (calcilutitas)
Horizontes diagnóstico	Epipedión Óchrnico y endopedión Cálxico
Profundidad de los suelos	Profundos o muy profundos
Material originario	Detríticos terrígenos finos o calcilutitas
Clase de drenaje	Bien drenados
Clase de infiltración	Moderada
Conductividad hidráulica	Moderada
CRAD	Alta o muy alta
Compactación (según densidad aparente)	Generalmente no hay problemas para el desarrollo radicular
Texturas desde la superficie	Medias a moderadamente finas
Elementos gruesos	Pocos
Localización	Vertientes de pendiente suave a moderada y divisorias del Área de vertientes y barrancos
Pediones representativos	ML25
Perfil modal	IXC7-P1 y IXC7-P2
Características diferenciales de la Familia:	
<p>El horizonte Ap tiene un espesor de 40-50 cm. Es de textura franca, con pocos elementos gruesos (1-5%). Su contenido de carbonatos es alto (35-40%), presentando una respuesta muy alta al HCl 11%. La reacción es moderadamente básica o ligeramente alcalina (pH 7.9-8.7).</p> <p>La sección control del perfil (desde el límite superior del Ap hasta un contacto paralítico entre 70-80 cm, o hasta 1 m), está constituida por un horizonte cálcico, que presenta una acumulación secundaria de carbonatos en forma de nódulos (20-40% en volumen). Tiene pocos elementos gruesos (1-5%). La textura el franco arcillo limosa, con contenidos de arcilla del 35% y de arena del 2%. La mineralogía es carbonática. El contenido de carbonatos es muy alto (40-45%). La reacción es moderadamente básica (pH 7.9-8.0). Este horizonte carbonático supone un limitante para la profundidad efectiva del suelo.</p> <p>Como material subyacente puede encontrarse una marga, no salina (CE 1:5 = 0.10), de textura franco arcillo limosa y que presenta frecuentes o abundantes acumulaciones de carbonatos en forma de nódulos (2-40% en volumen). Es de reacción moderadamente básica (pH 8.3).</p>	

#### Perfil modal IXC7-P1

Horz. genético	Horz. diagnost.		Prof. Mínima (cm)	PH (1:2.5)	CE (1:5)	CaCO <sub>3</sub> (%)	Mat. Orgánica (%)	Caliza activa (%)
Ap	Óchrnico		42	8.3	0.11	37.6	1.2	13.4
Bkn	Cálxico		160	8.3	0.10	42.0		
Arena gruesa (%)	Arena fina (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Clase textural (USDA)		Hdad. -33 kpa	Hdad. -1500 kpa	Densidad aparente kg m <sup>-3</sup>
7.0	29.4	44.3	19.3	Franca		22.4	7.9	1505
0.2	1.1	63.2	35.5	F. arcillo limosa		23.0	6.3	1550

## Perfil modal IXC7-P2

Horz. genético		Horz. diagnost.		Prof. Mínima (cm)	PH (1:2.5)	CE (1:5)	CaCO3 (%)	Mat. Orgánica (%)	Caliza activa (%)
Ap		Óchrico		42	8.3	0.11	37.6	1.2	13.4
Bkn		Cálcico		90	8.3	0.10	42.0		
Crkn		Cálcico		90	8.3	0.10	36.6		
Arena gruesa (%)	Arena fina (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Clase textural (USDA)		Hdad. -33 kpa	Hdad. -1500 kpa	Densidad aparente kg m <sup>3</sup>	
7.0	29.4	44.3	19.3	Franca		22.4	7.9	1505	
0.2	1.1	63.2	35.5	F. arcillo limosa		23.0	6.3	1550	
0.2	1.1	63.2	35.5	F. arcillo limosa					

Código de la Familia	IXC9
Clasificación taxonómica	<i>Xerochrept Calcixeróllico, franca gruesa, carbonática, térmica</i> (SSS 1975 y 1996) <i>Calcisol háptico</i> (FAO 1990)
Secuencia de horizontes genéticos	Ap-Bkn o Ap-Bkn-Crkn (calcilutitas)
Horizontes diagnóstico	Epipedión Ochrico, Endopedión Cálculo
Profundidad de los suelos	Profundos o muy profundos
Material originario	Detricos terrigenos finos o calcilutitas
Clase de drenaje	Bien drenados
Clase de infiltración	Moderadamente lenta
Conductividad hidráulica	Lenta
CRAD	Alta o muy alta
Compactación (según densidad aparente)	No presentan problemas al desarrollo radicular
Texturas desde la superficie	Medias a moderadamente finas
Elementos gruesos	Pocos o frecuentes
Localización	Divisoria redondeada del Área de relieve suavemente ondulado
Pediones representativos	PP36 (suelos muy profundos) y PP 43 (suelos profundos)
Perfil modal	IXC9-P1 y IXC9-P2
Características diferenciales de la Familia:	
<p>El horizonte Ap tiene un espesor de 30-50 cm. Es de textura franca, con pocos elementos gruesos (1-5%). Tiene un contenido de carbonatos alto o muy alto (31-72%), presentando una respuesta muy alta al HCl 11%. La reacción es moderadamente básica o ligeramente alcalina (pH 7.9-8.7).</p> <p>La sección control del perfil (desde el límite inferior del Ap hasta 1m) está constituida por un horizonte cálcico, que presenta acumulaciones muy abundantes de carbonatos (&gt;40% en volumen) en forma de nódulos y rizoconcrecciones. Es de textura franco limosa, con un contenido de arcilla entre el 10-19% y de arena de 17-38%. El contenido de elementos gruesos es frecuente (5-15%). Tiene un contenido de carbonatos muy alto (42-55% en volumen) y presenta una reacción moderadamente básica o ligeramente alcalina (pH 8.1-8.6).</p> <p>Como material subjacente puede encontrarse una marga no salina (CE 1:5 = 0.10), de textura franco arcillo limosa y que presenta acumulaciones de carbonatos en forma de nódulos muy abundantes (&gt;40% en volumen). Su reacción es moderadamente básica (pH 8.3).</p>	

#### Perfil modal IXC9-P1

Horz. genético	Horz. diagnost.		Prof. Mínima (cm)	PH (1:2.5)	CE (1:5)	CaCO <sub>3</sub> (%)	Mat. Orgánica (%)	Caliza activa (%)
Ap	Óchrico		35	8.2	0.12	50.1	0.9	16.3
Bkn	Cálculo		165	8.4	0.11	51.2		
Arena gruesa (%)	Arena fina (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Clase textural (USDA)	Hdad. -33 kpa	Hdad. -1500 kpa	Densidad aparente kg m <sup>-3</sup>	
9.3	30.3	44.0	16.4	Franca	19.3	7.8	1325	
2.4	20.3	61.0	16.3	Franco limosa	25.6	7.4	1450	

**Perfil modal IXC9-P2**

Horz. genético		Horz. diagnost.		Prof. Mínima (cm)	PH (1:2.5)	CE (1:5)	CaCO3 (%)	Mat. Orgánica (%)	Caliza activa (%)
Ap		Óchrico		35	8.2	0.12	50.1	0.9	16.3
Bkn		Cálcico		165	8.4	0.11	51.2		
Crkn				XXX	8.3	0.10			
Arena gruesa (%)	Arena fina (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Clase textural (USDA)		Hdad. -33 kpa	Hdad. -1500 kpa	Densidad aparente kg m <sup>3</sup>	
9.3	30.3	44.0	16.4	Franca		19.3	7.8	1325	
2.4	20.3	61.0	16.3	Franco limosa		25.6	7.4	1450	
				F. arcillo limosa (prueba previa)					

Código de la Familia	IXT1
Clasificación taxonómica	<i>Xerochrept Típico, franca gruesa, mezclada (no ácida), térmica</i> (SSS 1975 y 1996) <i>Cambisol éutrico</i> (FAO 1990)
Secuencia de horizontes genéticos	Ap-Bw-C
Horizontes diagnóstico	Epipedión Óchrnico y endopedión Cámbico
Profundidad de los suelos	Moderadamente profundos o profundos
Material originario	Detríticos terrígenos finos con gravas metamórficas
Clase de drenaje	Bien drenados
Clase de infiltración	Moderada
Conductividad hidráulica	Lenta
CRAD	Alta
Compactación (según densidad aparente)	Pueden presentar problemas para el desarrollo radicular a partir del horizonte de laboreo
Texturas desde la superficie	Moderadamente gruesas a medias
Elementos gruesos	Muy frecuentes
Localización	Vertientes de pendiente suave en el Área de pie de monte en las zonas adosadas al zócalo paleozoico
Pediones representativos	PM01
Perfil modal	IXT1-P1
Características diferenciales de la Familia:	
<p>El horizonte Ap tiene un espesor de 40-50 cm, con una textura franco arenosa, con elementos gruesos muy frecuentes (16-35%). El contenido de carbonatos es muy bajo (1-5%), con una respuesta baja al HCl 11%. La reacción es moderadamente básica (pH 8.0-8.2).</p> <p>La sección control del perfil (desde el límite inferior del Ap hasta 1 m) la constituye un horizonte cámbico, que presenta evidencias de alteración por la presencia de estructura edáfica diferente al material original. Es de textura franca, con un contenido de arcilla de 10-15% y con de arena de 27-51% y con elementos gruesos muy frecuentes (16-35%). La mineralogía es mezclada y presenta una respuesta prácticamente nula al HCl 11%. Tiene un contenido de carbonatos muy bajo o nulo (0.1-0.8%). La reacción es moderadamente básica.</p> <p>El material subyacente lo constituyen materiales detríticos terrígenos con gravas metamórficas, sin estructura debido a la abundancia de elementos gruesos. Su textura es franca y el contenido de carbonatos es nulo (0.1%).</p>	

#### Perfil modal IXT1-P1

Horz. genético	Horz. diagnost.		Prof. Mínima (cm)	PH (1:2.5)	CE (1:5)	CaCO <sub>3</sub> (%)	Mat. Orgánica (%)	Caliza activa (%)
Ap	Óchrnico		40	8.1	0.16	3.0	1.0	2.0
Bw	Cámbico		90	8.1	0.24	0.4		
C			170	8.1	0.22	0.1		
Arena gruesa (%)	Arena fina (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Clase textural (USDA)	Hdad. -33 kpa	Hdad. -1500 kpa	Densidad aparente kg m <sup>-3</sup>	
25.3	28.0	36.5	10.3	Franco arenosa	23.0	9.6	1470	
16.5	23.6	47.1	12.8	Franca	24.6	10.3	1755	
21.9	27.2	41.0	9.9	Franca	24.0	9.6	1790	



Código de la Familia	IXA1
Clasificación taxonómica	<i>Xerochrept Acuico, franca gruesa, mezclada (calcárea), térmica</i> (SSS 1975 y 1996) <i>Calcisol gleyi-háplico</i> (FAO 1990)
Secuencia de horizontes genéticos	Ap-Bkn-Bkng
Horizontes diagnóstico	Epipedión Óchrico y endopedión Cálxico
Profundidad de los suelos	Profundos
Material originario	Detríticos terrigenos finos
Clase de drenaje	Moderadamente bien drenados
Clase de infiltración	Moderadamente lenta
Conductividad hidráulica	Lenta
CRAD	Moderada
Compactación (según densidad aparente)	Generalmente no presentan problemas al desarrollo radicular
Texturas desde la superficie	Moderadamente gruesas
Elementos gruesos	Muy pocos
Localización	Partes bajas de vertientes con pendiente suave en el Área de relieve suavemente ondulado
Pedones representativos	PP53
Perfil modal	IXA1-P1
Características diferenciales de la Familia:	
<p>El horizonte Ap tiene un espesor de 30-40 cm, es de textura franco arenosa, con muy pocos elementos gruesos (&lt;1%). Tiene un contenido de carbonatos moderadamente alto (20-30%), presentando una respuesta muy alta al HCl 11%. La reacción es moderadamente básica.</p> <p>La sección control del perfil (desde el límite inferior del Ap hasta 1 m) la constituye un horizonte que presenta frecuentes acumulaciones secundarias de carbonatos en forma de nódulos (2-20% en volumen). A partir de los 70 cm de profundidad presenta moteado frecuente (2-20%) con cromas 2. Es de textura franco arenosa, con un contenido de arcilla del 15% y de arena de 54%. Tiene muy pocos elementos gruesos (&lt;1%). La mineralogía es mezclada, presentando una respuesta al HCl 11% muy alta. El contenido de carbonatos totales es moderadamente alto (27%) y la reacción es moderadamente básica (pH 8.3).</p> <p>El material subyacente es de textura franco arcillo limosa, y presenta abundantes manchas (20-50%). La respuesta al HCl 11% es muy alta, con un contenido de carbonatos alto (32.5%). La reacción es ligeramente alcalina (pH 8.7).</p>	

## Perfil modal IXA1-P1

Horz. genético	Horz. diagnost.		Prof. Mínima (cm)	PH (1:2.5)	CE (1:5)	CaCO <sub>3</sub> (%)	Mat. Orgánica (%)	Caliza activa (%)
Ap	Óchrico		35	8.2	0.12	20.4	0.7	4.9
Bkn	Cálxico		70	8.3	0.10	27.2		
Bkng	Cálxico		110	8.3	0.12	27.2		
Cg	-		140	8.7	0.23	32.5		
Arena gruesa (%)	Arena fina (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Clase textural (USDA)		Hdad. -33 kpa	Hdad. -1500 kpa	Densidad aparente kg m <sup>-3</sup>
7.0	50.9	27.7	14.8	Franco arenosa		17.0	7.8	1570
3.9	50.0	31.7	14.5	Franco arenosa		16.7	8.9	1490
6.7	46.9	31.7	14.7	Franco arenosa		17.3	9.2	1490
2.3	6.9	61.7	29.1	F. arcillo limosa				

Código de la Familia	EXF1
Clasificación taxonómica	<i>Xerofluvent Típico, limosa fina, mezclada (calcárea), térmica</i> (SSS 1975 y 1996) <i>Fluvisol calcáreo</i> (FAO 1990)
Secuencia de horizontes genéticos	Ap-Bw
Horizontes diagnóstico	Epipedión Óchrnico
Profundidad de los suelos	Muy profundos
Material originario	Detríticos terrigenos finos
Clase de drenaje	Bien drenados
Clase de infiltración	Moderada
Conductividad hidráulica	Lenta
CRAD	Muy alta
Compactación (según densidad aparente)	Generalmente no presentan problemas para el desarrollo radicular, ni en el horizonte Ap ni en profundidad
Texturas desde la superficie	Medias a moderadamente finas
Elementos gruesos	Pocos
Localización	Partes bajas de vertientes de pendiente suave, fondos de valle y llanuras aluviales
Pediones representativos	TL63
Perfil modal	EXF1-P1
Características diferenciales de la Familia:	
<p>El horizonte Ap tiene un espesor de 30-50 cm, es de textura franco limosa y con pocos elementos gruesos. El contenido de carbonatos es moderadamente alto o alto (20-36%), la respuesta al HCl 11% es muy alta y la reacción es moderadamente básica (pH 8.2-8.4).</p> <p>La sección control del perfil (desde el límite inferior del Ap hasta 1 m) se corresponde básicamente con el horizonte Bw. Es de texturas franco limosas o franco arcillo limosas, con un contenido de arcilla entre 24-34%. La mineralogía es mezclada, con un contenido de carbonatos moderadamente alto o alto (20-37%). La respuesta al HCl 11% es muy alta y la reacción es moderadamente básica o ligeramente alcalina (pH 8.3-8.6). Estos suelos presentan carácter fluvéntico (distribución irregular de la materia orgánica en profundidad).</p>	

#### Perfil modal EXF1-P1

Horz. genético	Horz. diagnost.		Prof. Mínima (cm)	PH (1:2.5)	CE (1:5)	CaCO3 (%)	Mat. Orgánica (%)	Caliza activa (%)
Ap	Óchrnico		42	8.3	0.16	28.0	0.7	
Bw			165	8.4	0.15	28.5		
Arena gruesa (%)	Arena fina (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Clase textural (USDA)	Hdad. -33 kpa	Hdad. -1500 kpa	Densidad aparente kg m <sup>-3</sup>	
4.1	17.6	58.6	19.7	Franco limosa	21.2	8.3	1570	
2.1	10.7	57.6	29.6	F. arcillo limosa	23.8	6.2	1370	-

Código de la Familia	EXF3
Clasificación taxonómica	<i>Xerofluvient Típico, franca gruesa, mezclada (calcárea), térmica</i> (SSS 1975 y 1996) <i>Fluvisol calcáreo</i> (FAO 1990)
Secuencia de horizontes genéticos	Ap-Bw
Horizontes diagnóstico	Epipedión Óchrico
Profundidad de los suelos	Muy profundos
Material originario	Detríticos terrigenos finos
Clase de drenaje	Bien drenados
Clase de infiltración	Moderadamente lenta
Conductividad hidráulica	Lenta
CRAD	Muy alta
Compactación (según la densidad aparente)	Generalmente no presentan problemas de desarrollo radicular en el horizonte superficial aunque lo pueden presentar en profundidad
Texturas desde la superficie	Medias
Elementos gruesos	Pocos
Localización	Partes bajas de vertientes de pendiente suave, fondos de valle y llanuras aluviales
Pediones representativos	PP40
Perfil modal	EXF3-P1
Características diferenciales de la Familia:	
<p>El horizonte Ap tiene un espesor de 30-50 cm, es de textura franca, con pocos elementos gruesos (1-5%). El contenido de carbonatos es moderadamente alto o alto (20-35%), presentando una respuesta al HCl 11% muy alta. La reacción es moderadamente básica (pH 7.9-8.1).</p> <p>La sección control del perfil (desde el límite inferior del Ap hasta 1 m) se corresponde con el horizonte Bw. Es de texturas francas, con un contenido de arcilla entre 14-17% y de arena del 38-44%. La mineralogía es mezclada, con un contenido de carbonatos moderadamente alto o alto (23-35%). La respuesta al HCl 11% es muy alta. La reacción es moderadamente básica o ligeramente alcalina (pH 8.2-8.6). Estos suelos presentan carácter fluvéntico (contenido de 0.36% de carbono orgánico a 125 cm).</p>	

## Perfil modal EXF3-P1

Horz. Genético	Horz. diagnost.		Prof. Mínima (cm)	PH (1:2.5)	CE (1:5)	CaCO <sub>3</sub> (%)	Mat. Orgánica (%)	Caliza activa (%)
Ap	Óchrico		44	8.0	0.16	27.5	1.2	7.6
Bw			150	8.4	0.19	28.0	0.13	28.0
Arena gruesa (%)	Arena fina (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Clase textural (USDA)	Hdad. -33 kpa	Hdad. -1500 kpa	Densidad aparente kg m <sup>-3</sup>	
4.7	27.9	49.4	18.0	Franca	20.6	7.8	1575	
3.4	37.6	43.8	15.2	Franca	21.4	7.9	1620	

Código de la Familia	EXT1
Clasificación taxonómica	<i>Xeorthent Típico, limosa, mezclada (calcárea), térmica, superficial</i> (SSS 1975 y 1996) <i>Regosol calcáreo</i> (FAO 1990)
Secuencia de horizontes genéticos	Ap-Cr (calclutitas)
Horizontes diagnóstico	Epipedión Óchrico
Profundidad de los suelos	Poco profundos
Material originario	Calclutitas
Clase de drenaje	Drenaje rápido
Clase de infiltración	Moderadamente lenta
Conductividad hidráulica	Moderada
CRAD	Baja
Compactación (según densidad aparente)	Pueden presentar problemas al desarrollo radicular por la alta compactación del horizonte superficial
Texturas desde la superficie	Moderadamente finas
Elementos gruesos	Pocos
Localización	Vertientes de pendiente suave a moderada en el Área de vertientes y barrancos
Pediones representativos	PM09 y ML32
Perfil modal	EXT1-P1
Características diferenciales de la Familia:	
<p>La sección control se limita al horizonte A, que limita con el C mediante un contacto paralítico a menos de 50 cm desde la superficie. Es de textura franco arcillo limosa, con un contenido de arcilla entre 27-31%. Tiene pocos elementos gruesos (1-5%). La mineralogía es mezclada, con un contenido de carbonatos de mediano a alto (15-40%), la respuesta al HCl 11% es muy alta. La reacción es moderadamente básica o ligeramente alcalina (pH 8.3-8.7).</p> <p>El horizonte subjacente son calclutitas, ligeramente salinas (CE 1:5 0.33), con un contenido de carbonatos de mediano a muy alto (15-50%) y de reacción ligeramente alcalina (pH 8.6-9.0).</p>	

#### Perfil modal EXT1-P1

Horz. genético	Horz. diagnost.		Prof. Mínima (cm)	PH (1:2.5)	CE (1:5)	CaCO <sub>3</sub> (%)	Mat. Orgánica (%)	Caliza activa (%)
Ap	Óchrico		35	8.5	0.18	32.0	1.2	12.1
C			132	8.8	0.33	30.0		
Arena gruesa (%)	Arena fina (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Clase textural (USDA)	Hdad. -33 kpa	Hdad. -1500 kpa	Densidad aparente kg m <sup>-3</sup>	
1.5	12.3	58.6	27.6	F. arcillo limosa	25.8	12.1	1725	
0.6	5.2	63.4	30.8	F. arcillo limosa				

Código de la Familia	EXT2
Clasificación taxonómica	<i>Xerorthent Típico, franca, mezclada (calcárea), térmica, superficial</i> (SSS 1975 y 1996) <i>Regosol calcáreo</i> (FAO 1990)
Secuencia de horizontes genéticos	Ap-Cr (calcilititas)
Horizontes diagnóstico	Epipedión Óchrico
Profundidad de los suelos	Poco o moderadamente profundos
Material originario	Calcilititas y areniscas incoherentes
Clase de drenaje	Drenaje rápido
Clase de infiltración	Moderadamente lenta
Conductividad hidráulica	Lenta
CRAD	Baja
Compactación (según densidad aparente)	Generalmente no presentan problemas al desarrollo radicular
Texturas desde la superficie	Medias o moderadamente gruesas
Elementos gruesos	Pocos o muy pocos
Localización	Vertientes de pendiente suave en el Área de relieve suavemente ondulado y vertientes de pendiente moderada a fuerte en el Área de vertientes y barrancos
Pediones representativos	PP47
Perfil modal	EXT2-P1
Características diferenciales de la Familia:	
<p>La sección control se limita al horizonte A, que limita con el C mediante un contacto paralítico a menos de 50 cm desde la superficie. Es de textura franca o franco arenosa, con un contenido de arcilla menor del 18%. Tiene pocos o muy pocos elementos gruesos (1-5%). La mineralogía es mezclada, presentando una respuesta muy alta al HCl 11%. El contenido de carbonatos totales es moderadamente alto (20-30%). La reacción es moderadamente básica (pH 8.0-8.4).</p> <p>El horizonte subyacente son típicamente calcilititas, no salinas, con un contenido de carbonatos alto o muy alto (35-60%). La reacción es moderadamente básica (pH 8.2-8.4).</p>	

## Perfil modal EXT2-P1

Horz. Genético		Horz. diagnost.		Prof. Mínima (cm)	PH (1:2.5)	CE (1:5)	CaCO <sub>3</sub> (%)	Mat. Orgánica (%)	Caliza activa (%)
Ap		Óchrico		40	8.0	0.16	28.0	1.2	8.0
C				125	8.4	0.18	35.0		
Arena gruesa (%)	Arena fina (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Clase textural (USDA)		Hdad. -33 kpa	Hdad. -1500 kpa	Densidad aparente kg m <sup>-3</sup>	
3.2	40.1	42.1	14.6	Franca		20.8	7.8	1515	
25.0	29.7	32.2	13.1	Franco arenosa					

Código de la Familia	EXL1
Clasificación taxonómica	<i>Xerorthent Lítico, franca, mezclada (no ácida), térmica, superficial</i> (SSS 1975 y 1996) <i>Regosol Eútrico</i> (FAO 1990)
Secuencia de horizontes genéticos	A-R
Horizontes diagnóstico	Epipedión Óchrico
Profundidad de los suelos	Poco profundos
Material originario	Esquistos y cuarcitas
Clase de drenaje	Drenaje rápido
Clase de infiltración	Moderadamente lenta
Conductividad hidráulica	Moderada
CRAD	Muy baja
Compactación (según densidad aparente)	No presenta problemas para el desarrollo radicular
Texturas desde la superficie	Medias
Elementos gruesos	Abundantes
Localización	Vertientes escarpadas o muy escarpadas del Área de montaña (Sierra Prelitoral)
Pedones representativos	SP1
Perfil modal	EXL1-P1 y EXL2-P2
Características diferenciales de la Familia:	
<p>La sección control se limita la horizonte A, que limita con el R mediante un contacto lítico a menos de 50 cm desde la superficie. Es de textura franca, con un contenido de arcilla entre el 18-35%. Tiene abundantes elementos gruesos (36-70%). La mineralogía es mezclada y no presenta respuesta al HCl 11%. La reacción es medianamente básica (pH 7.4-7.8).</p> <p>El horizonte subyacente son rocas: esquistos y/o cuarcitas.</p>	

#### Perfil modal EXL1-P1

Horz. genético		Horz. Diagnost.		Prof. Mínima (cm)	PH (1:2.5)	CE (1:5)	CaCO3 (%)	Mat. Orgánica (%)	Caliza activa (%)
Ap		Óchrico		35	7.4	0.14	1.0	4.6	
R				100					
Arena gruesa (%)	Arena fina (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Clase textural (USDA)		Hdad. -33 kpa	Hdad. -1500 kpa	Densidad aparente kg m <sup>3</sup>	
20.3	17.2	38.1	26.1	Franca		21.0	8.0	1350	

Código de la Familia	EXL2
Clasificación taxonómica	<i>Xerorthent Lítico, franca, mezclada (calcárea), térmica, superficial</i> SSS (1975, 1996) <i>Regosol calcáreo</i> (FAO 1990)
Secuencia de horizontes genéticos	A-R
Horizontes diagnóstico	Epipedión Óchrico
Profundidad de los suelos	Poco profundos
Material originario	Calizas y dolomías
Clase de drenaje	Drenaje rápido
Clase de infiltración	Moderadamente lenta
Conductividad hidráulica	Moderada
CRAD	Muy baja
Compactación (según densidad aparente)	No presenta problemas al desarrollo radicular
Texturas desde la superficie	Medias
Elementos gruesos	Frecuentes
Localización	Vertientes escarpadas o muy escarpadas del Área de montaña (Sierra Prelitoral)
Pediones representativos	
Perfil modal	EXL2-P1
Características diferenciales de la Familia:	
<p>La sección control se limita al horizonte A, que limita con el R por medio de un contacto lítico a menos de 50 cm desde la superficie. Es de textura franca, con un contenido de arcilla entre el 18-25%. Tiene frecuentes elementos gruesos (5-15%). La mineralogía es mezclada y presenta una alta respuesta al HCl 11%. La reacción es moderadamente básica (pH 7.9-8.4).</p> <p>El horizonte subyacente son rocas calizas.</p>	

## Perfil modal EXL2-P1

Horz. genético		Horz. Diagnost.		Prof. Mínima (cm)	PH (1:2.5)	CE (1:5)	CaCO3 (%)	Mat. Orgánica (%)	Caliza activa (%)
Ap		Óchrico		40	8.0	0.12	22.5	4.0	
R				120					
Arena gruesa (%)	Arena fina (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Clase textural (USDA)		Hdad. -33 kpa	Hdad. -1500 kpa	Densidad aparente kg m <sup>-3</sup>	
2.3	20.5	58.0	19.2	Franca		23.8	12.7	1380	

## **Anejo 2**

**Modelo conceptual, definición del modelo interno y diccionario de la base de datos de suelos del Sistema de Información de Suelos.**





### 1. Modelo conceptual y definición del modelo interno de la base de datos del Sistema de Información de Suelos.

Tabla SUELOS.PAT (Delineaciones de las unidades cartográficas. Está conectada con la componente geométrica de la base de datos espacial de suelos).

Atributo	Tipo	Anchura	Decimales	Descripción
AREA	N	11	0	Superficie (m <sup>2</sup> ) de cada delineación de suelos perteneciente a una unidad cartográfica.
PERIMETRO	N	11	0	Perímetro (m) de cada delineación de suelos perteneciente a una unidad cartográfica.
>>SUELOS#	N	11	0	Identificador interno asignado a cada delineación o polígono por el SIG al crear la topología de la cobertura. Actúa como identificador clave de la entidad delineación.
<<SUELOS_ID	N	11	0	Identificador asignado por el usuario que representa la unidad cartográfica a la que pertenece la delineación de suelos. Puede actuar como identificador externo a la entidad delineación.
<<CODIGO	C	4		Identificador asignado por el usuario que representa la unidad cartográfica a la que pertenece la delineación de suelos. Actúa como identificador externo a la entidad delineación para establecer la relación con la entidad UC (Unidad Cartográfica).

Tabla UC.DBF (Unidades cartográficas. Contiene la información temática asociada a las unidades cartográficas de suelos).

Atributo	Tipo	Anchura	Decimales	Descripción
>>CODIGO	C	4		Identificador clave de la entidad UC. Representa el código de cada unidad cartográfica.
<TIPO	C	3		Tipo de unidad cartográfica según su pureza en cuanto a componentes de suelos: consociación, asociación, complejo o área miscelánea.
<TEXTURA	C	A		Fase de textura del horizonte superficial de la unidad cartográfica.
PENDIENTE				Fase de pendiente de la unidad cartográfica.
<LITOLOGIA	C	5		Material originario de los suelos que componen la unidad cartográfica.
<<GEOFORMA	C	3		Geoforma donde se encuentra enclavada la unidad cartográfica de suelos. Actúa como identificador externo a la entidad UC para establecer la relación con la entidad GEOFORMA.

Tabla GEOFORMA.DBF (Geoformas)

Atributo	Tipo	Anchura	Decimales	Descripción
>>GEOFORMA	C	3		Representa el código de cada geoforma en la que se subdividen las unidades de paisaje.
DESCRIPCIO	C	105		Descripción de la geoforma.
<<PAISAJE	C	1		Código que representa la unidad de paisaje en la que se encuentra la geoforma

Tabla PERFIL.DBF (Perfiles modales. Contiene la información temática relativa a los perfiles modales que representan las familias de suelos).

Atributo	Tipo	Anchura	Decimales	Descripción
>>PERFIL	C	7		Identificador clave de la entidad PERFIL.
MATORIG	C	5		Material originario a partir del cual se han desarrollado los suelos que representa el perfil modal.
CDRENAJE	C	30		Clase de drenaje del perfil modal según el criterio CatSIS (Boixadera <i>et al.</i> 1989).
CINFILTRA	C	20		Clase de infiltración del perfil modal según criterio de Landon (1984).
CCONDHIDRA	C	25		Clase de conductividad hidráulica según Landon (1984).
CCRAD	C	15		Clase de Capacidad de Retención de Agua Disponible según el criterio CatSIS (Boixadera <i>et al.</i> 1989, SCS 1983).
ESTESTR	C	10		Estabilidad estructural del horizonte superficial del perfil.
<LIMITAPROF	C	5		Tipo de limitación al desarrollo radicular que presenta el perfil.
LIMITEPROF	N	3	0	Profundidad desde la superficie del suelo a la que aparece la capa u horizonte limitante.
CPROFUND	C	25		Clase de profundidad efectiva del suelo según el criterio CatSIS (Boixadera <i>et al.</i> 1989).
SECHORIZON	C	15		Secuencia de horizontes genéticos del perfil modal (nomenclatura SSS 1994).
<<TAXA	C	4		Clase taxonomica (familia) a la que pertenece el perfil modal. Actúa como identificador externo a la entidad PERFIL para establecer la relación con la entidad TAXA.

Tabla UCPERFIL.DBF (Relación entre unidades cartográficas y perfiles modales).

Atributo	Tipo	Anchura	Decimales	Descripción
<<>>CODIGO	C	4		Componente del identificador clave de la entidad UCPERFIL. Representa el código de cada unidad cartográfica. Actúa también como identificador externo para establecer la relación con la entidad UC.
<<>>PERFIL	C	7		Componente del identificador clave de la entidad UCPERFIL. Representa el código de cada perfil que se relaciona con un miembro de UC. Actúa también como identificador externo para establecer la relación con la entidad PERFIL.
PORCENTAJE	N	3	0	Porcentaje de un determinado componente de suelos en una unidad cartográfica.
<SITUACION	C	3		Patrón de distribución de un determinado componente de suelos en una unidad cartográfica.
<RELACION	C	3		Tipo de relación del componente de suelos en la unidad cartográfica: componente principal o inclusión.

Tabla TAXA.DBF (Clasificación taxonómica a nivel de familia de los perfiles modales).

Atributo	Tipo	Anchura	Decimales	Descripción
>>TAXA	C	4		Identificador clave de la familia de suelos.
GGRUPO	C	15		Gran grupo al que pertenece el perfil modal de suelos según Soil Taxonomy (SSS 1975 y 1996).
SGRUPO	C	15		Subgrupo al que pertenece el perfil modal de suelos según Soil Taxonomy (SSS 1975 y 1996).
CTEXTURAL	C	20		Clase de partículas del perfil modal de suelos según Soil Taxonomy (SSS 1975 y 1996).
CMINERAL	C	15		Clase mineralógica del perfil modal de suelos según Soil Taxonomy (SSS 1975 y 1996).
REACCION	C	15		Clase de reacción del perfil modal de suelos según Soil Taxonomy (SSS 1975 y 1996).
CTEMP	C	11		Clase de temperatura del perfil modal de suelos según Soil Taxonomy (SSS 1975 y 1996).
CPROF	C	11		Clase de profundidad del perfil modal de suelos según Soil Taxonomy (SSS 1975 y 1996).
FAO1990	C	20		Clase a la que pertenece el perfil modal según el sistema de clasificación de la FAO-Unesco (FAO 1990).

Tabla HORIZON.DBF (Descripción de los horizontes de los perfiles modales).

Atributo	Tipo	Anchura	Decimales	Descripción
>>HORIZONTE	C	15		Identificador clave del horizonte.
<<PERFIL	C	7		Identificador del perfil al que pertenece el horizonte. Actúa como identificador externo a la entidad HORIZONTE para establecer la relación con la entidad PERFIL.
HORIZGEN	C	5		Clase de horizonte genético, nomenclatura SSS (1994).
HORIZDIAG	C	15		Clase de horizonte diagnóstico según Soil Taxonomy (SSS 1975 y 1996).
PROFMIN	N	3	0	Profundidad del límite superior del horizonte (cm).
PROFMAX	N	3		Profundidad del límite inferior del horizonte (cm).
ESPESOR	N	3	0	Espesor del horizonte (cm).
COLOR	C	9		Color del horizonte (tablas Munsell).
MANCHASP	C	5		Porcentaje de manchas que aparecen en el horizonte.
MANCHAST	C	5		Tamaño de las manchas que aparecen en el horizonte (rango en mm).
MANCHASC	C	9		Color de las manchas que aparecen en el horizonte (tablas Munsell).
ELGRUESOS	C	5		Porcentaje de elementos gruesos que aparecen en el horizonte (criterio SINEDARES, CatSIS).
<TEXTURA	C	4		Clase de textura USDA.
AREGRUESA	N	4	1	Porcentaje de Arena gruesa USDA.
AREFINA	N	4	1	Porcentaje de Arena fina USDA.
LIMO	N	4	1	Porcentaje de Limo USDA.
ARCILLA	N	4	1	Porcentaje de Arcilla USDA.
ESTRGRADO	C	17		Grado de desarrollo de la estructura.
ESTRCFORMA	C	20		Forma de los agregados.
ESTRCTAMA	C	10		Tamaño de los agregados.

Tabla HORIZON.DBF (Descripción de los horizontes de los perfiles modales),  
(continuació).

COMPACIDAD	C	15		Grado de compacidad (criterio SINEDARES, CatSIS).
FRIABILIDA	C	15		Grado de friabilidad (criterio SINEDARES, CatSIS).
CEMENTAC	C	15		Grado de cementación del horizonte (criterio SINEDARES, CatSIS).
HCL	C	10		Grado de reacción al HCl 11% (criterio SINEDARES, CatSIS).
REVEST	C	5		Proporción de revestimientos en el horizonte (criterio SINEDARES, CatSIS).
REVESTIPO	C	10		Tipo de revestimientos
ACUMAL	C	5		Porcentaje acumulaciones.
ACUMFORMA	C	17		Forma de las acumulaciones.
ACUMCOMP	C	10		Componente de las acumulaciones.
PH	N	3	1	pH al agua 1:2.5
CE1_5	N	4	2	Conductividad eléctrica (dS/m a 25°) del extracto 1:5.
CACO3	N	4	1	Porcentaje de carbonatos totales.
MORGANICA	N	4	2	Porcentaje de materia orgánica.
CALIZAACT	N	4	1	Porcentaje de caliza activa.
HDAD33	N	4	1	Humedad retenida a -33 Kpa en % en peso.
HDAD1500	N	4	1	Humedad retenida a -1500 Kpa en % en peso.
DAP	N	4	0	Densidad aparente kg/m <sup>3</sup>
CCRAD_MM	N	5	1	Capacidad de Retención de Agua Disponible del horizonte (mm).

### **Anejo 3**

**Procedimientos de consultas del Sistema de Información de Suelos para el análisis de la información.**



## Procedimientos de consulta mediante lenguaje estructurado SQL para el análisis de la información del Sistema de Información de Suelos.

### Descripción de las unidades cartográficas

```
SELECT DISTINCTROW UC.CODIGO, UCTIPO.DESCRIPCIO, TAXA.GGRUPO, TAXA.SGRUPO,
TAXA.CTEXTURAL, TAXA.CMINERAL, TAXA.REACCION, TAXA.CTEMP, TAXA.CPROF,
PERFIL.CPROFUND, UCPERFIL.PORCENTAJE, UCPERELA.DESCRIPCIO
FROM (((UC INNER JOIN UCTIPO ON UC.TIPO = UCTIPO.TIPO) INNER JOIN UCPERFIL ON
UC.CODIGO = UCPERFIL.CODIGO) INNER JOIN PERFIL ON UCPERFIL.PERFIL = PERFIL.PERFIL)
INNER JOIN TAXA ON PERFIL.TAXA = TAXA.TAXA) INNER JOIN UCPERELA ON
UCPERFIL.RELACION = UCPERELA.RELACION;
```

### Estructura de los horizontes A

```
SELECT DISTINCT HORIZONTIP.HORIZONTIP, HORIZONTIP.HORZ_GEN,
HORIZONTIP.ESTRUCT1_GRADO, HORIZONTIP.ESTRUCT1_FORMA,
HORIZONTIP.ESTRUCT1_TAMAÑO, HORIZONTIP.ESTRUCT2_GRADO,
HORIZONTIP.ESTRUCT2_FORMA, HORIZONTIP.ESTRUCT2_TAMAÑO, HORIZONTIP.PERFILTIP
FROM HORIZONTIP
WHERE (((HORIZONTIP.HORZ_GEN) Like "A*") AND ((([HORIZONTIP].[HORZ_GEN]) Like "Ap/*"
Or ([HORIZONTIP].[HORZ_GEN]) Like "A/*")=False))
ORDER BY HORIZONTIP.HORIZONTIP, HORIZONTIP.HORZ_GEN;
```

### Estructura de los horizontes Bk

```
SELECT DISTINCTROW HORIZONTIP.HORIZONTIP, HORIZONTIP.HORZ_GEN,
HORIZONTIP.ESTRUCT1_GRADO, HORIZONTIP.ESTRUCT1_FORMA,
HORIZONTIP.ESTRUCT1_TAMAÑO, HORIZONTIP.ESTRUCT2_GRADO,
HORIZONTIP.ESTRUCT2_FORMA, HORIZONTIP.ESTRUCT2_TAMAÑO
FROM HORIZONTIP
WHERE (((HORIZONTIP.HORZ_GEN) Like "**Bk*" Or (HORIZONTIP.HORZ_GEN) Like "A/Bk*")
AND ((([HORIZONTIP].[HORZ_GEN]) Like "**Bkn*" Or ([HORIZONTIP].[HORZ_GEN]) Like "A/Bkn*"
Or ([HORIZONTIP].[HORZ_GEN]) Like "**Bkm" Or ([HORIZONTIP].[HORZ_GEN]) Like
"*Ab*")=False))
ORDER BY HORIZONTIP.ESTRUCT1_GRADO, HORIZONTIP.ESTRUCT2_GRADO,
HORIZONTIP.ESTRUCT2_FORMA, HORIZONTIP.ESTRUCT2_TAMAÑO;
```

### Estructura de los horizontes Bkn

```
SELECT DISTINCTROW HORIZONTIP.HORIZONTIP, HORIZONTIP.HORZ_GEN,
HORIZONTIP.ESTRUCT1_GRADO, HORIZONTIP.ESTRUCT1_FORMA,
HORIZONTIP.ESTRUCT1_TAMAÑO, HORIZONTIP.ESTRUCT2_GRADO,
HORIZONTIP.ESTRUCT2_FORMA, HORIZONTIP.ESTRUCT2_TAMAÑO, HORIZONTIP.PERFILTIP
FROM HORIZONTIP
WHERE (((HORIZONTIP.HORZ_GEN) Like "**Bkn*" Or (HORIZONTIP.HORZ_GEN) Like "A/Bkn*"))
ORDER BY HORIZONTIP.HORIZONTIP, HORIZONTIP.HORZ_GEN,
HORIZONTIP.ESTRUCT1_GRADO, HORIZONTIP.ESTRUCT1_FORMA,
HORIZONTIP.ESTRUCT1_TAMAÑO, HORIZONTIP.ESTRUCT2_GRADO,
HORIZONTIP.ESTRUCT2_FORMA, HORIZONTIP.ESTRUCT2_TAMAÑO;
```



**Estructura de horizontes Bt**

```
SELECT DISTINCTROW HORIZONTALIP.HORIZONTALIP, HORIZONTALIP.HORZ_GEN,
HORIZONTALIP.ESTRUCT1_GRADO, HORIZONTALIP.ESTRUCT1_FORMA,
HORIZONTALIP.ESTRUCT1_TAMAÑO, HORIZONTALIP.ESTRUCT2_GRADO,
HORIZONTALIP.ESTRUCT2_FORMA, HORIZONTALIP.ESTRUCT2_TAMAÑO
FROM HORIZONTALIP
WHERE (((HORIZONTALIP.HORZ_GEN) Like "*Bt*" Or (HORIZONTALIP.HORZ_GEN) Like "A/Bt*" Or
(HORIZONTALIP.HORZ_GEN) Like "*Ct*"))
ORDER BY HORIZONTALIP.ESTRUCT1_GRADO, HORIZONTALIP.ESTRUCT2_GRADO,
HORIZONTALIP.ESTRUCT2_FORMA, HORIZONTALIP.ESTRUCT2_TAMAÑO;
```

**Estructura de los horizontes Bw**

```
SELECT DISTINCTROW HORIZONTALIP.HORIZONTALIP, HORIZONTALIP.HORZ_GEN,
HORIZONTALIP.ESTRUCT1_GRADO, HORIZONTALIP.ESTRUCT1_FORMA,
HORIZONTALIP.ESTRUCT1_TAMAÑO, HORIZONTALIP.ESTRUCT2_GRADO,
HORIZONTALIP.ESTRUCT2_FORMA, HORIZONTALIP.ESTRUCT2_TAMAÑO, HORIZONTALIP.PERFILTIP
FROM HORIZONTALIP
WHERE (((HORIZONTALIP.HORZ_GEN) Like "Bw*" Or (HORIZONTALIP.HORZ_GEN) Like "A/Bw*" Or
(HORIZONTALIP.HORZ_GEN) Like "*Bw*"))
ORDER BY HORIZONTALIP.ESTRUCT1_GRADO, HORIZONTALIP.ESTRUCT2_GRADO,
HORIZONTALIP.ESTRUCT2_FORMA, HORIZONTALIP.ESTRUCT2_TAMAÑO;
```

**Acumulaciones en horizonte Bk**

```
SELECT DISTINCTROW HORIZONTALIP.HORIZONTALIP, HORIZONTALIP.HORZ_GEN,
HORIZONTALIP.ACUMUL_CANTIDAD, HORIZONTALIP.ACUMUL_FORMA
FROM HORIZONTALIP
WHERE (((HORIZONTALIP.HORZ_GEN) Like "*Bk*" Or (HORIZONTALIP.HORZ_GEN) Like "A/Bk*")
AND ((([HORIZONTALIP].[HORZ_GEN]) Like "*Bkn*" Or ([HORIZONTALIP].[HORZ_GEN]) Like "A/Bkn*"
Or ([HORIZONTALIP].[HORZ_GEN]) Like "*Bkm" Or ([HORIZONTALIP].[HORZ_GEN]) Like
"*Ab*")=False))
ORDER BY HORIZONTALIP.ACUMUL_CANTIDAD;
```

**Acumulaciones en horizontes Bkn**

```
SELECT DISTINCTROW HORIZONTALIP.HORIZONTALIP, HORIZONTALIP.HORZ_GEN,
HORIZONTALIP.ACUMUL_CANTIDAD, HORIZONTALIP.ACUMUL_FORMA
FROM HORIZONTALIP
WHERE (((HORIZONTALIP.HORZ_GEN) Like "*Bkn*"))
ORDER BY HORIZONTALIP.ACUMUL_CANTIDAD, HORIZONTALIP.ACUMUL_FORMA;
```

**Acumulaciones en horizontes Bt**

```
SELECT DISTINCTROW HORIZONTALIP.HORIZONTALIP, HORIZONTALIP.HORZ_GEN,
HORIZONTALIP.ACUMUL_CANTIDAD, HORIZONTALIP.ACUMUL_FORMA
FROM HORIZONTALIP
WHERE (((HORIZONTALIP.HORZ_GEN) Like "*Bt*" Or (HORIZONTALIP.HORZ_GEN) Like "A/Bt*" Or
(HORIZONTALIP.HORZ_GEN) Like "Ct*"))
ORDER BY HORIZONTALIP.ACUMUL_CANTIDAD, HORIZONTALIP.ACUMUL_FORMA;
```

**Acumulaciones en horizontes Crkn**

```
SELECT DISTINCTROW HORIZONTIP.HORIZONTIP, HORIZONTIP.HORZ_GEN,
HORIZONTIP.ACUMUL_CANTIDAD, HORIZONTIP.ACUMUL_FORMA
FROM HORIZONTIP
WHERE (((HORIZONTIP.HORZ_GEN) Like "**Ckn*")
ORDER BY HORIZONTIP.HORZ_GEN, HORIZONTIP.ACUMUL_CANTIDAD,
HORIZONTIP.ACUMUL_FORMA;
```

**Contenido de carbonato cálcico en horizontes A**

```
SELECT DISTINCT HORIZONTIP.HORIZONTIP, HORIZONTIP.HORZ_GEN, HORIZONTIP.CACO3
FROM HORIZONTIP
WHERE (((HORIZONTIP.HORZ_GEN) Like "A*") AND ((HORIZONTIP.CACO3)<>9999) AND
(((HORIZONTIP].[HORZ_GEN]) Like "Ap/*" Or ((HORIZONTIP].[HORZ_GEN]) Like "A/*")=False));
```

**Contenido de carbonato cálcico en horizontes Bkn**

```
SELECT DISTINCTROW HORIZONTIP.HORIZONTIP, HORIZONTIP.HORZ_GEN,
HORIZONTIP.CACO3
FROM HORIZONTIP
WHERE (((HORIZONTIP.HORZ_GEN) Like "**Bkn*") AND ((HORIZONTIP.CACO3)<>9999))
ORDER BY HORIZONTIP.HORZ_GEN;
```

**Contenido de carbonato cálcico en horizontes Bt**

```
SELECT DISTINCTROW HORIZONTIP.HORIZONTIP, HORIZONTIP.HORZ_GEN,
HORIZONTIP.CACO3
FROM HORIZONTIP
WHERE (((HORIZONTIP.HORZ_GEN) Like "**Bt*" Or (HORIZONTIP.HORZ_GEN) Like "A/Bt*") AND
((HORIZONTIP.CACO3)<>9999))
ORDER BY HORIZONTIP.CACO3;
```

**Contenido de carbonato cálcico en horizontes Bw**

```
SELECT DISTINCTROW HORIZONTIP.HORIZONTIP, HORIZONTIP.HORZ_GEN,
HORIZONTIP.CACO3
FROM HORIZONTIP
WHERE (((HORIZONTIP.HORZ_GEN) Like "Bw*" Or (HORIZONTIP.HORZ_GEN) Like "A/Bw*" Or
(HORIZONTIP.HORZ_GEN) Like "**Bw*") AND ((HORIZONTIP.CACO3)<>9999))
ORDER BY HORIZONTIP.CACO3;
```

**Relación entre usos del suelo y contenidos de materia orgánica en perfiles tipo.**

```
SELECT DISTINCTROW PERFILTIP.USO, [Materia orgánica perfiles tipo].PROMEDIODE
FROM PERFILTIP INNER JOIN [Materia orgánica perfiles tipo] ON PERFILTIP.PERFILTIP = [Materia
orgánica perfiles tipo].PERFILTIP
WHERE (((PERFILTIP.USO)=12 Or (PERFILTIP.USO)=37) AND (([Materia orgánica perfiles
tipo].PROMEDIODE)>0));
```

**Perfiles con evidencias de mezcla de materiales de horizontes subsuperficiales**

```
SELECT DISTINCTROW PERFILTIP.PERFILTIP, PERFILTIP.TAXA,  
PERFLTIP.[MEZCLAHORZ_A/B/C], PERFILTIP.EVIDENCIAS_MEZCLA,  
HORIZONTAL.HORZ_GEN, PERFILTIP.PROFMAXLABO  
FROM PERFILTIP INNER JOIN HORIZONTAL ON PERFILTIP.PERFILTIP = HORIZONTAL.PERFILTIP  
WHERE (((PERFLTIP.EVIDENCIAS_MEZCLA) <> "NIVELACIONES") AND  
((HORIZONTAL.HORZ_GEN) Like "Ap" Or (HORIZONTAL.HORZ_GEN)="Ap1"))  
ORDER BY PERFILTIP.EVIDENCIAS_MEZCLA;
```

**Índice de Tablas**



<b>Tabla 1.1.</b> Superficie dedicada al cultivo de la viña. Periodo 1970-1994. (Fuente: Anuarios de Estadística Agraria, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación).....	7
<b>Tabla 2.1.</b> Sistema de clasificación de geoformas (Zinck 1988).....	28
<b>Tabla 2.2.</b> Clases de adyacencia entre geoformas.....	31
<b>Tabla 2.3.</b> Clases de amplitud de relieve o relieve interno (Meijerink 1988). ....	32
<b>Tabla 2.4.</b> Clases de densidad de drenaje (adaptado de Meijerink 1988). ....	32
<b>Tabla 2.5.</b> Clases de rugosidad del terreno (varianza de la pendiente).....	35
<b>Tabla 2.6.</b> Leyenda del mapa de geoformas del Alt Penedès-Anoia. ....	38
<b>Tabla 2.7.</b> Atributos topográficos descriptores de las geoformas. ....	41
<b>Tabla 3.1.</b> Propiedades de los suelos caracterizadas y métodos empleados.....	78
<b>Tabla 3.2.</b> Bases del diseño y reglas para la definición de la base de datos de suelos.....	82
<b>Tabla 3.3.</b> Carbonato cálcico equivalente y acumulaciones de carbonato cálcico en perfiles con horizontes Bwkn (edafogénesis en calcilutitas) y Crkn.....	84
<b>Tabla 3.4.</b> Familias de suelos descritos en el Alt Penedès – Anoia, según el sistema de clasificación de suelos Soil Taxonomy (SSS 1975, SSS 1994) y correspondencia con el sistema de clasificación FAO-UNESCO (FAO 1990).....	85
<b>Tabla 3.5.</b> Modelo de suelo-paisaje del área de montaña (Sierra Prelitoral). ....	86
<b>Tabla 3.6.</b> Modelo suelo-paisaje del área de pie de monte. ....	91
<b>Tabla 3.7.</b> Modelo de suelo-paisaje del área de vertientes y barrancos.....	96
<b>Tabla 3.8.</b> Modelo de suelo-paisaje del área de relieve suavemente ondulado. ....	100
<b>Tabla 3.9.</b> Modelo de suelo-paisaje del área de niveles aluviales recientes. ....	102
<b>Tabla 3.10.</b> 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). ....	107
<b>Tabla 3.11.</b> Contenidos de materia orgánica de los horizontes Ap analizados. Criterio SINEDARES (C.B.D.S.A. 1983).....	115
<b>Tabla 3.12.</b> Usos del suelo y niveles de materia orgánica en los horizontes Ap de los perfiles descritos en el área de estudio. ....	116
<b>Tabla 3.13.</b> Estructura de los horizontes de los perfiles tipo descritos en campo en el Alt Penedès – Anoia. (Frecuencia de horizontes).....	118

<b>Tabla 3.14.</b> Resultados de los tests de prueba de independencia entre frecuencias observadas y esperadas para la comparación del grado de desarrollo de estructura entre horizontes (Chi cuadrado).....	120
<b>Tabla 3.15.</b> Contenido de carbonato cálcico equivalente de los horizontes de los perfiles tipo analizados (frecuencia de horizontes).....	121
<b>Tabla 3.16.</b> Acumulaciones secundarias de carbonatos descritas en horizontes de los perfiles tipo. ....	122
<b>Tabla 3.17.</b> Evidencias de mezcla de materiales en horizontes superficiales por el efecto de la erosión y/o el laboreo profundo.....	124
<b>Tabla 3.18.</b> Resultados de los tests de prueba de independencia entre frecuencias observadas y esperadas para la comparación de la presencia de evidencias de mezcla en horizontes superficiales en función de la profundidad máxima de laboreo. ....	125
<b>Tabla 3.19.</b> Prueba t-Student de separación de medias entre los contenidos de materia orgánica en los horizontes superficiales de suelos con evidencias de mezcla de materiales y de perfiles sin evidencias de mezcla. ....	126
<b>Tabla 3.20.</b> Prueba t-Student de separación de medias de contenido de carbonato cálcico en perfiles con evidencias de mezcla en los horizontes superficiales de suelos con evidencias de mezcla de materiales y de perfiles sin evidencias de mezcla. ....	127
<b>Tabla 3.21.</b> Resultados de los tests de prueba de independencia entre frecuencias observadas y esperadas para la comparación de la estructura en los horizontes superficiales de suelos con evidencias de mezcla de materiales de horizontes subsuperficiales y de suelos sin evidencias de mezcla.....	128
<b>Tabla 3.22.</b> Prueba t-Student de separación de medias de la profundidad efectiva del suelo en perfiles con evidencias de mezcla en horizontes superficiales y sin evidencias de mezcla. ....	128
<b>Table 4.1.</b> Main landscape units in the Alt Penedès-Anoia region.....	142
<b>Table 4.2.</b> Main informational classes for land cover/use mapping in the Alt Penedès – Anoia.....	147
<b>Table 4.3.</b> Factorial scores applied to generate the friction surface used in the modelling of the development of existing gullies. ....	152
<b>Table 4.4.</b> Drainage density, gully-eroded area and volume in the main landscape units of the Alt Penedès-Anoia region.....	154
<b>Table 4.5.</b> Dominant planar form and degree of crenelation of the gully perimeter in the landscape units. ....	156
<b>Table 4.6.</b> Erosional activity class and main erosion processes on gully walls in the Alt Penedès – Anoia region.....	164
<b>Table 4.7.</b> Chi Square (X <sup>2</sup> ) test between erosional activity classes and landscape units. Differences between the distribution of observed and expected frequencies.....	166

<b>Table 4.8. Relationships between the erosional activity classes and topographical variables in the gully eroded areas.....</b>	167
<b>Table 4.9. Matrix of changes occurred in the gullied areas of the Rierusa catchment in the period 1957 – 1993, (hectares). .....</b>	172
<b>Table 4.10. Summary of the topographic and vegetation cover characteristics of the gullied areas (period 1957-1993) and their adjacent gully-eroded areas (1957 situation).....</b>	175
<b>Table 4.11. Observed frequencies of the probability classes of existing gully erosion at parcel level in the different landscape units.....</b>	183
<b>Tabla 5.1.1. Leyenda del mapa de unidades de paisaje/relieve (geoformas) del Alt Penedès-Anoia.....</b>	206
<b>Tabla 5.1.2. Clases de adyacencia entre unidades cartográficas en función del índice de adyacencia.....</b>	207
<b>Tabla 5.1.3. Descripción de los campos de la tabla de atributos de polígonos (PAT) de la cobertura Paisaje/Relieve. ....</b>	210
<b>Tabla 5.1.4. Descripción de los campos de la tabla de atributos de arcos (AAT) de la cobertura Paisaje/Relieve. ....</b>	211
<b>Tabla 5.1.5. Consultas SQL para la obtención del índice de adyacencia entre unidades del mapa vectorial de Paisaje/Relieve. ....</b>	215
<b>Tabla 5.1.6. Índice de adyacencia entre unidades cartográfica del mapa de Paisaje/Relieve y las áreas de barrancos o badlands (Alt Penedès-Anoia).....</b>	216
<b>Table 5.2.1. Land cover/use classes identified at pixel or sub-pixel resolution in the Alt Penedès-Anoia region. ....</b>	232
<b>Table 5.2.2. Legend of the Land cover/use map of the Alt Penedès-Anoia region (generalisation level 1). ....</b>	233
<b>Table 5.2.3. Land cover/use class hierarchy considered for the Alt Penedès-Anoia case study.....</b>	234
<b>Table 5.2.4. Accuracy assessment of the Land cover/use map of the Alt Penedès-Anoia region, (generalisation level 2). ....</b>	236
<b>Table 5.3.1. DOCELL process to find the outlets of the elementary catchments as implemented in Arc Macro Language. ....</b>	257
<b>Table 5.3.2. Topographical variables and threshold area for the sample cathments in the two test areas located in the Alt Penedès – Anoia region (Catalonia, NE Spain). ....</b>	260
<b>Table 5.3.3. Results of the linear regression analysis between the threshold area values and topographical variables for the sample catchments. ....</b>	260
<b>Table 5.4.1. Main relief and lithologic characteristics of the sample catchments. ....</b>	273



<b>Table 5.4.2. Relief, soil, and land use/management factors and sampling methods.....</b>	<b>274</b>
<b>Table 5.4.3. Results of the t-test. ....</b>	<b>277</b>
<b>Table 5.4.4. Results of the Chi-Square-test.....</b>	<b>277</b>
<b>Table 5.4.5. Results of the Stepwise Regression.....</b>	<b>278</b>
<b>Table 5.4.6. Threshold slope degrees for different slope planar forms and probability levels. ...</b>	<b>281</b>
<b>Table 5.4.7. Error matrix for the assessment of the existing gully erosion prediction in the Alt Penedès-Anoia region.....</b>	<b>283</b>

**Índice de Figuras**



<b>Figura 1.1.</b> Localización del área de estudio. (Imagen Landsat TM de 28 de marzo de 1993, composición en falso color rojo-verde-azul 543). .....	5
<b>Figura 1.2.</b> Ejemplo de los cambios producidos en las últimas décadas en los sistemas de cultivo de la viña. Izquierda: fotografía aérea de 1957 (escala original aproximada 1:30.000, en la zona de Sant Llorenç d'Hortons) que muestra la práctica de cultivos a nivel y bancales en las plantaciones de viña. Derecha: fotografía aérea de 1986 (escala original aproximada 1:30.000, en la misma zona), muestra la desaparición de los cultivos a nivel y bancales, y el crecimiento de la cárcava ocurrido en este periodo. ....	8
<b>Figura 1.3.</b> Izquierda: concentración de flujo en un canal de desagüe en el borde de una parcela de viña durante una tormenta. Derecha: cárcava desarrollada en el borde de la parcela, donde se concentra el flujo del agua. Esta cárcava va siendo periódicamente rellenada con tierra por el agricultor, ya que afecta a uno de los caminos de paso de la maquinaria en la parcela. ....	9
<b>Figura 1.4.</b> Secuencia de la disección de parcelas y del territorio causada por la erosión por cárcavas y barrancos. Izquierda: dificultad para el tránsito de la maquinaria por la incisión de una cárcava en una parcela de viña (foto: A. Meyer). Centro: cárcava desarrollada en una parcela transformada antes de la plantación de la viña. Derecha: barranco, que supone una gran disección en el paisaje y la pérdida de superficie de cultivo a largo plazo. ....	9
<b>Figura 1.5.</b> Diseño de parcelas para nuevas plantaciones de viña. Izquierda: movimientos de tierra. Derecha superior: parcela tras los movimientos de tierra y nivelación. Derecha inferior: colapso de la zona de barranco rellenada en una nueva plantación de viña tras las primeras lluvias (foto: A. Meyer). ....	10
<b>Figura 1.6.</b> Estructura de la presente tesis. ....	14
<b>Figura 2.1.</b> Esquema geológico y disposición de las fallas de la Depresión del Vallès – Penedès, (fuente: Cabrera 1981). Localidades: C, Castellbisball; Ce, Cerdanyola; E, Esparraguera; EP, El Papiol; G, Gelida; M, Martorell, O, Olesa; P, Piera; Pa, Pacs; R, Rubí; SAP, Sant Andreu de la Barca; SCV, Sant Cugat del Vallès; SMS, Sant Martí Sarroca; SMV, Sta. M <sup>a</sup> de Vilalba; SSA Sant Sadurní d'Anoia; V, Vilobí; VP, Vilafranca del Penedès. ....	24
<b>Figura 2.2.</b> Interpretación geológica del perfil gravimétrico transversal de la cuenca del Penedès. Destaca el considerable grosor de los sedimentos neógenos en la parte noroccidental de la cuenca. (Fuente: Casas y Permanyer en Folch 1986). ....	26
<b>Figura 2.3.</b> Proceso metodológico llevado a cabo para la identificación y caracterización de las geoformas. ....	29
<b>Figura 2.4.</b> Representación de una submatriz de 3x3 celdas del Modelo Digital de Elevaciones. Los valores Zi representan la altitud en el punto central de la celda y L es la distancia entre celdas o resolución del MDE. ....	33
<b>Figura 2.5.</b> Unidades de Paisaje del área de estudio (Alt Penedès – Anoia). (Mapa elaborado a partir de la fotointerpretación de fotografías aéreas y posterior georeferenciación y digitalización vectorial). (Bn indica zona norte de la unidad de paisaje B, y Bs indica zona sur de la unida de paisaje B). ....	36

<b>Figura 2.6.</b> Mapa de geoformas del Alt Penedès – Anoia. Escala original 1:50.000. (Ver leyenda con la descripción de las geoformas en la Tabla 2.6). (Mapa elaborado a partir de la fotointerpretación de fotografías aéreas y posterior georeferenciación y digitalización vectorial en ArcInfo).....	39
<b>Figura 2.7.</b> Localización de los perfiles topográficos para la descripción morfológica de las geoformas.....	42
<b>Figura 2.8.</b> Relieve característico de la unidad de paisaje de montaña (Sierra Prelitoral).....	43
<b>Figura 2.9.</b> Perfil topográfico y de pendiente P-1. (Perfiles obtenidos a partir del modelo digital de elevaciones y de pendientes. Las letras en el interior del gráfico indican los códigos de la leyenda del mapa de geoformas, Tabla 2.6).....	44
<b>Figura 2.10.</b> Perfil topográfico y de pendiente P-2.....	45
<b>Figura 2.11.</b> Vista de la Plana de Mas Marquet, entre Piera y Hostalets de Pierola.....	46
<b>Figura 2.12.</b> Perfil topográfico P-3.....	48
<b>Figura 2.13.</b> Perfil topográfico P-4.....	49
<b>Figura 2.14.</b> Perfil topográfico P-5.....	50
<b>Figura 2.15.</b> Perfil topográfico P-6.....	50
<b>Figura 2.16.</b> 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.....	53
<b>Figura 2.17.</b> Perfil topográfico y de pendiente P-7.....	54
<b>Figura 2.18.</b> Perfil topográfico y de pendiente P-8.....	55
<b>Figura 2.19.</b> Perfil topográfico y de pendiente P-9.....	55
<b>Figura 2.20.</b> Morfología del paisaje característica de la unidad de relieve suavemente ondulados.....	57
<b>Figura 2.21.</b> Perfil topográfico y de pendiente P-10.....	58
<b>Figura 2.22.</b> Perfil topográfico y de pendiente P-11.....	59
<b>Figura 2.23.</b> Perfil topográfico y de pendiente P-12.....	60
<b>Figura 2.24.</b> 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.....	62
<b>Figura 2.25.</b> Perfil topográfico y de pendiente P-13.....	63
<b>Figura 2.26.</b> Perfil topográfico y de pendiente P-14.....	64

<b>Figura 2.27.</b> Perfil topográfico y de pendiente P-15.....	64
<b>Figura 3.1.</b> 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.....	76
<b>Figura 3.2.</b> Áreas modelo para el análisis de las relaciones suelo-paisaje con la localización de los perfiles estudiados.....	77
<b>Figura 3.3.</b> (a) Perfil PM05 (Palexeralf petrocálcico, arcillosa fina, mezclada, térmica), y (b) perfil PM08 (Haploxeralf típico, esquelético franca, mezclada, térmica), ambos en las Planas de Mas Marquet (entre Piera y Hostalets de Pierola).....	87
<b>Figura 3.4.</b> (a) Perfil PM06 (Xerochrept calcixeróllico, franca fina, mezclada, térmica), y (b) perfil PM07 (Xerochrept calcixeróllico, limosa fina, mezclada, térmica), ambos en el área colindante a las Planas de Mas Marquet (entre Piera y Hostalets de Pierola).....	88
<b>Figura 3.5.</b> (a) Perfil TL70 (Xerochrept petrocálcico, franca, mezclada, térmica, superficial) en el Carrer de Can Rosell, y (b) perfil TL54 (Haploxeralf cálcico, franca fina, carbonática, térmica) en Can Cardús (Torrelavit).....	89
<b>Figura 3.6.</b> (a) Perfil PP38 (Xerochrept petrocálcico, franca, mezclada, superficial, térmica) en Can Suriol (Guardiola de Font Rubí), y (b) perfil PP39 (Xerochrept fluvéntico, limosa fina, mezclada, térmica) en El Fons de Can Calix (Guardiola de Font Rubí). ....	90
<b>Figura 3.7.</b> (a) Perfil PM13 (Xerochrept calcixeróllico, franca gruesa, carbonática, térmica) en Can Bonastre (Masquefa), y (b) perfil ML29 (Xerochrept calcixeróllico, arenosa, mezclada, térmica) en Can Atalaya (Gelida).....	92
<b>Figura 3.8.</b> (a) Perfil PM14 (Xerochrept calcixeróllico, franca gruesa, mezclada, térmica) en Can Bonastre (Masquefa), (b) perfil ML26 (Xerochrept calcixeróllico, limosa fina, carbonática, térmica) en Monistrol d’Anoia, y (c) perfil ML20 (Xerochrept calcixeróllico, franca gruesa, carbonática, térmica) en Can Prats (Sant Llorenç d’Hortons). ....	93
<b>Figura 3.9.</b> Incremento de la pedregosidad superficial (rizoconcrecciones de caliza) como consecuencia de la incorporación en superficie de endopediones cálcicos de Xerochrepts calcixeróllicos con mineralogía carbonática, y detalle de las rizoconcrecciones de caliza. ....	94
<b>Figura 3.10.</b> (a) Perfil PM15 (Xerochrept fluvéntico, limosa fina, mezclada, térmica), en La Grua (Piera). (b) perfil ML24 (Xerorthent típico, franca, mezclada (calcárea), térmica, superficial), en Can Prats (Sant Llorenç d’Hortons), y (c) perfil ML32 (Xerorthent típico, limosa, mezclada (calcárea), térmica, superficial), en Can Atalaya (Gelida).....	95
<b>Figura 3.11.</b> (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). ....	97
<b>Figura 3.12.</b> (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). ....	98

<b>Figura 3.13.</b> (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).....	99
<b>Figura 3.14.</b> (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 (Xerofluvent típico, limosa fina, mezclada (calcárea), térmica) en Monistrol d’Anoia. ....	101
<b>Figura 3.15.</b> Representación cartográfica de las unidades cartográficas de la base de datos de suelos del Alt Penedès – Anoia. Escala cartográfica original de la información 1:50.000.....	105
<b>Figura 3.16.</b> 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.....	112
<b>Figura 3.17.</b> 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. ....	114
<b>Figura 3.18.</b> Suelo con horizonte argílico enterrado por aportes aluviales recientes en una terraza del río Anoia. ....	121
<b>Figura 3.19.</b> Operación de volteo de la parte superior del suelo previa a la plantación de viñas en una parcela. ....	124
<b>Figure 4.1.</b> Gully erosion mapping and modelling strategies.....	139
<b>Figure 4.2.</b> Main landscape units in the Alt Penedès – Anoia region and gully eroded areas. ....	141
<b>Figure 4.3.</b> Research plan for gully erosion mapping and modelling in the Alt Penedès - Anoia region.....	144
<b>Figure 4.4.</b> Methodological process applied to the characterisation of gully erosion at regional scale: drainage network, gully-eroded area and volume and sidewall morphology. ....	146
<b>Figure 4.5.</b> Methodological process for mapping the present erosional activity of walls of large gullies. ....	148
<b>Figure 4.6.</b> Methodological process for the analysis of changes on gullies and for the calculation of erosion rates at sub-catchment scale. ....	149
<b>Figure 4.7.</b> Methodological process applied to map the probable areas where small gullies exist and can reach bigger dimensions in the Alt Penedès – Anoia. ....	151
<b>Figure 4.8.</b> Drainage network of the Alt Penedès-Anoia region, superimposed to the main landscape units. ....	153
<b>Figure 4.9.</b> Location of the cross-sectional shapes referred in Figure 4.10 and Figure 4.11. ....	157

<b>Figure 4.10.</b> Cross-sectional shapes of large gullies in the northern area of the Piedmont-glacis unit and the High dissected valley-glacis unit indicated in Figure 4.9. ....	158
<b>Figure 4.11.</b> Cross-sectional shapes of the large gullies in the southern area of the Piedmont-glacis, Low dissected valley-glacis and Valley units indicated in Figure 4.9. ....	159
<b>Figure 4.12.</b> Base level and longitudinal profiles of the main rivers and tributaries in the study area. ....	160
<b>Figure 4.13.</b> Examples of gully walls classified as Semi-active – Stable (> 60% vegetation cover). ....	162
<b>Figure 4.14.</b> Examples of gully walls classified as Active – Semi-active (< 40% vegetation cover). ....	162
<b>Figure 4.15.</b> Erosional activity of gully walls and other areas >20 % slope degree. ....	163
<b>Figure 4.16.</b> Processes in the gully borders that contribute to the lateral retreat of gullies. Example of a circular slip. ....	164
<b>Figure 4.17.</b> Outlet of a drainage channel in a vineyard parcel that has produced a retreat of the gully wall by direct impact of water flow and undercutting of the wall. ....	165
<b>Figure 4.18.</b> Left: Fissure produced in border between a parcel and a gully. Right: Slip that produces gully wall retreat. ....	165
<b>Figure 4.19.</b> Small and medium-size gullies in the Rierusa catchment: 1957 and 1993 situations. ....	168
<b>Figure 4.20.</b> Example of lateral retreat of a gully that makes the gully is represented as an area feature in the 1993 situation. ....	169
<b>Figure 4.21.</b> Filling of gullies as consequence of the levelling of the parcel. ....	169
<b>Figure 4.22.</b> Main active areas of gully erosion (small and medium-size gullies) in the studied period. ....	170
<b>Figure 4.23.</b> Left: ephemeral gully formed during a high intensity precipitation event and that is later removed by tillage operations. Right: Gully developed in the border of a parcel that is periodically filled. ....	171
<b>Figure 4.24.</b> Land cover/use maps of the inside gullied area in the Rierusa catchment. Left: 1957, right: 1993. ....	171
<b>Figure 4.25.</b> Areas of the Rierusa catchment affected by the retreat of gully walls during the period 1957-1993, and land cover/use class in the 1993 situation. ....	173
<b>Figure 4.26.</b> Stack of stones in the boundary between a gully and a parcel in order to avoid the retreat of the gully sidewall. ....	174
<b>Figure 4.27.</b> Gully-eroded areas in the Rierusa catchment that were filled during the period 1957-1993 and example of a new parcel after filling some gully-eroded areas. ....	176



**Figure 4.28.** Left: New vineyard parcel after the levelling of an old parcel and the filling of part of a gully (left) in the Rierusa catchment. Right: Filled gully. .... 176

**Figure 4.29.** Changes in the intersect gullied areas in the Rierusa catchment. Period 1957 – 1993. .... 177

**Figure 4.30.** Result of the subtraction of the 1957 and 1993 digital elevation models in the intersect gullied areas of the Rierusa catchment and location of the cross-sections represented in Figure 4.31. .... 179

**Figure 4.31.** Cross-sections of the 1957 and 1993 digital elevation models and of the altitude differences of representative changes produced in the Rierusa catchment. .... 180

**Figure 4.32.** Histogram of the altitude differences in the intersect gullied areas and considered altitude differences. .... 181

**Figure 4.33.** Result of the subtraction of the 1957 and 1993 digital elevation models in the areas affected by the retreat of gully walls in the Rierusa catchment. .... 182

**Figure 4.34.** Probability of existing gully erosion at parcel level. (Based on the existing gully erosion prediction model of Meyer and Martínez-Casasnovas 1998). .... 184

**Figure 4.35.** Friction surface that integrates the observed prone conditions and barriers for the retreat of gullies in the Alt Penedès – Anoia. The values indicate the facility/difficulty the terrain offers to the retreat of gully walls. .... 186

**Figure 4.36.** Cost-distance surface. The values represent the cost of movement of gully walls from gully bordering areas towards ungullied headwater areas according to the considered friction surface. .... 187

**Figure 4.37.** Cross-tabulation image of the measured retreat areas and the predicted gullied areas in the period 1957-1993 in the gullies of the Rierusa basin. .... 188

**Figure 4.38.** Hypothetical situation of the areas affected by the retreat of large gullies in the period 1993-2030 in the Alt Penedès – Anoia region, according to the proposed evolutive gully retreat model. .... 189

**Figure 4.39.** (A) Processes in the border between parcels and gullies, and (B) possible solution to avoid the saturation of those areas by subsurface runoff. .... 190

**Figure 4.40.** (A) Concentration of runoff water in drainage channels and free fall of water on the gully walls, (B) erosion of the gully walls and gravity mass movements, and (C) possible solution by means of the canalisation of runoff water from parcels to gully beds. .... 192

**Figura 5.1.1.** Percepción de relaciones espaciales entre objetos del terreno representados en un mapa y en un mapa vectorial en un Sistema de Información Geográfica. .... 204

**Figura 5.1.2.** Relación de adyacencia entre áreas (representadas por polígonos). (Molenaar y Martínez-Casasnovas 1996). .... 208

<b>Figura 5.1.3.</b> Representación gráfica vectorial y tablas de topología. Los polígonos representan delineaciones de unidades cartográficas (UC), con los que guardan una relación uno-a-muchos: por ejemplo, una UC puede tener una o más delineaciones en el mapa, mientras que una delineación solo pertenece a una UC.....	209
<b>Figura 5.1.4.</b> Estructura Formal de Datos (FDS) según Molenaar (1989). (Las flechas representan relaciones uno-a-muchos entre entidades: p.e. un objeto línea se compone de uno o más arcos). .....	209
<b>Figura 5.1.5.</b> Estructura Formal de Datos (FDS) implementada en ArcInfo (van Smaalen y Molenaar 1993). (Las flechas representan relaciones uno-a-muchos). .....	210
<b>Figura 5.1.6.</b> Niveles topológicos de la estructura de datos del mapa vectorial de unidades cartográficas utilizados para la obtención del índice de adyacencia. (En otras aplicaciones la entidad UC puede ser diferente a la de Paisaje/Relieve, p.e. unidades de vegetación, al igual que las delineaciones de las UCs). .....	212
<b>Figura 5.1.7.</b> Diagrama de flujo con el procedimiento utilizado para el cálculo del índice de adyacencia a partir de las tablas de atributos del mapa vectorial de unidades cartográficas. ....	214
<b>Figura 5.1.8.</b> Unidades de paisaje/relieve (geformas) del Alt Penedès-Anoia (Barcelona). (Ver descripción de la leyenda en la Tabla 5.1.1). .....	217
<b>Figura 5.1.9.</b> Índice de Adyacencia entre las unidades cartográficas de paisaje/relieve (geformas) a las áreas de barrancos o badlands (Alt Penedès-Anoia, Barcelona).....	218
<b>Figure 5.2.1.</b> Landsat TM image of the Alt Penedès-Anoia region (Catalonia, NE Spain). False colour composite red-green-blue 543. March 1993.....	226
<b>Figure 5.2.2.</b> Generalisation hierarchy structure for land cover/use mapping from remotely sensed data. Level 1 represents the basic level of spatial information (more detailed), that is defined by membership of pixels of spectral classes to elementary land cover/use classes. Level 2 represents a higher level in the generalisation hierarchy (less detailed), that is created by class generalisation and aggregation of mapping units of level 1.....	228
<b>Figure 5.2.3.</b> Relational database model for definition of mapping units at different generalisation levels according to the proposed hierarchy structure of figure 2. ....	229
<b>Figure 5.2.4.</b> Land cover/use mapping units of the Alt Penedès-Anoia region, (second generalisation level). .....	235
<b>Figure 5.2.5.</b> Example of querying from the second to the first generalisation level. ....	237
<b>Figure 5.3.1.</b> Representation of hydrographic terrain characteristics.....	246
<b>Figure 5.3.2.</b> Nested hierarchy of drainage basins (after Marsh 1991). .....	247
<b>Figure 5.3.3.</b> Drainage elements, elementary catchments and aggregation hierarchy (after Martínez-Casasnovas 1994). .....	248

**Figure 5.3.4.** (A) Representation of a drainage network in a vector data structure (the nodes or junctions are labeled). (B1) and (C1) Catchments if nodes 4 and 2 are respectively used as source points of watersheds. (In a raster data structure the same catchment's boundaries are derived if the nodes are considered as source cells). (B2) and (C2) Elementary catchments that should be obtained according to Martínez-Casasnovas (1994). ..... 250

**Figure 5.3.5.** Location of the test areas and sample catchments that were considered..... 251

**Figure 5.3.6.** (A) Raster data structure of the drainage network of Figure 5.3.4. (The cell values represent the Shreve stream order). (B) Representation of the drainage network element junctions (#) and the cells that are considered as outlets to compute each elementary catchment (\*). ..... 253

**Figure 5.3.7.** Examples of criteria that the processing cell (central cell in the 3 x 3 window) must fulfil to be labeled as outlet cell: (A) The processing cell fulfil the required criteria; (B) The processing cell is a cell of the drainage network but no neighboring cell is of a higher Shreve order; (C) The processing cell is not a cell of the drainage network. .... 255

**Figure 5.3.8.** Arcinfo-Grid neighbourhood notation: cell position within a 3 x 3 window. .... 255

**Figure 5.3.9.** Flow diagram of the program to obtain the drainage networks and the elementary catchments. .... 256

**Figure 5.3.10.** Resulting drainage networks (Rierusa basin) after the application of different threshold area values and comparison with drainage network as result of the photo-interpretation. .... 259

**Figure 5.3.11.** Elementary catchments of the Rierusa (A) and Romani-Bribons (B) drainage basins according to the proposed methodology. (The drainage network has been superimposed). ..... 262

**Figure 5.4.1.** Location of the study area. .... 271

**Figure 5.4.2.** Development of gullies in vineyard parcels and damages. .... 272

**Figure 5.4.3.** Automatic delineation of the basic information unit (b.s.u.)..... 275

**Figure 5.4.4.** The results of the DIFCHISQU and DIFDEV regression diagnostics. (Observation number 10 was rejected because the high delta Chi-square and deviation differences)..... 280

**Figure 5.4.5.** Logistic curves for each slope contour form..... 281

**Figure 5.4.6.** Probability of existence of gully erosion at vineyard parcels in the Rierussa and Romani-Bribons catchments (Alt Penedès-Anoia region). .... 282

## **Abreviaciones**





**Abreviaciones**

AAT	Arc Attribute Table
b.s.u.	Basic Spatial Unit
CE	Conductividad Eléctrica
CRAD	Capacidad de Retención de Agua Disponible para la plantas
DEM	Digital Elevation Model
D.O.	Denominación de Origen
FDS	Formal Data Structure
GIS	Geographical Information Sistem
IGME	Instituto Geológico y Minero de España
LCUC	Land Cover/Use Class
MAPA	Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación
MDE	Modelo Digital de Elevaciones
MU	Mapping Unit
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
PAT	Polygon Attribute Table
PCA	Principal Component Analysis
RBDMS	Relational DabaBase Management System
SQL	Structured Query Language
SCS-USDA	Soil Conservation Service – United States Department of Agriculture
SIG	Sistemas de Información Geográfica
SIS	Sistema de Información de Suelos
SSS	Soil Survey Staff
TM	Thematic Mapper

*Abreviaciones*

---

UC	Unidad Cartográfica
USLE	Universal Soil Loss Equation
UTM	Universal Transverse Mercator



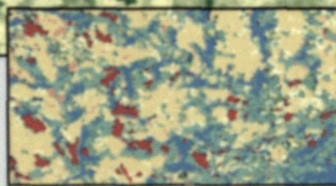
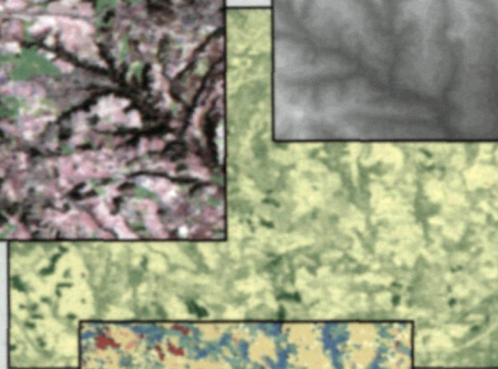
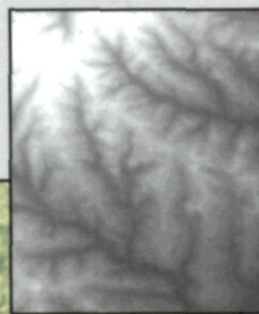






Faint, illegible text at the top of the page, possibly a header or title.

1. The first part of the document discusses the importance of maintaining accurate records of all transactions.



**Universitat de Lleida**  
Departament de Medi Ambient  
i Ciències del Sòl