



Universitat de Lleida

Canvis d'usos i cobertes del sòl a la regió rural mediterrània DOQ Priorat: anàlisi espacio-temporal, factors i conseqüències a escala local

Roser Cots Folch

Dipòsit Legal: L.279-2013

<http://hdl.handle.net/10803/110731>



Canvis d'usos i cobertes del sòl a la regió rural mediterrània DOQ Priorat: anàlisi espaciotemporal, factors i conseqüències a escala local està subjecte a una llicència de [Reconeixement-NoComercial-SenseObraDerivada 3.0 No adaptada de Creative Commons](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/)

Les publicacions incloses en la tesi no estan subjectes a aquesta llicència i es mantenen sota les condicions originals.

(c) 2013, Roser Cots Folch



**Canvis d'usos i
cobertes del sòl
a la regió rural
mediterrània
DOQ Priorat:**

**Anàlisi espacio-
temporal, factors
i conseqüències
a escala local**

**DOCTORANDA
Roser Cots Folch**

**DIRECTORS
J. Antonio Martínez
Casasnovas**

**M. Concepción
Ramos Martín**

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

Gener 2013



**Universitat de Lleida
Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Agrària**

**Canvis d'usos i cobertes del sòl
a la regió rural mediterrània DOQ Priorat**

**Anàlisi espaciotemporal, factors i
conseqüències a escala local**

Memòria presentada per

Roser Cots Folch

per optar al títol de doctora

Directors de tesi

José Antonio Martínez Casanovas

Maria Concepción Ramos Martín

Departament de Medi Ambient i Ciències del Sòl

Universitat de Lleida

Gener 2013

*Als pagesos del Priorat,
que durant anys i molt d'esforç
han cultivat aquest territori difícil
però de bellesa extraordinària.*

Als de casa, que m'han ensenyat a estimar la terra.

AGRAÏMENTS

Als meus directors de tesi, José Antonio Martínez i Maria Concepción Ramos, per l'oportunitat, la transmissió de saber i tot el suport que m'han donat durant aquests anys. Però sobretot per estar, durant tot el temps, aquí.

Són moltes les persones (investigadors, professors, companys i amics) que durant aquests anys m'han ajudat en el treball d'aquesta tesi i que han permès que finalment arribés a bon destí. Els companys de Falset, Porrera, Lleida, Aberdeen, Louvain-la-Neuve... i, finalment, Barcelona. A aquelles persones i amics que m'he trobat pel camí, que cadascun, amb el seu coneixement, suport o ajuda han permès donar valor i fer possible aquest treball. I en especial, a la gent de Porrera que em van obrir les portes de casa seva per compartir el seu saber del territori.

A tots aquells que puguin treure'n profit d'aquesta investigació, perquè serveixi per crear més coneixement i un millor territori.

La llista seria massa llarga... si m'ho permets... i ho estàs llegint, saps que ets un d'ells.

A la meva família, per saber que són sempre aquí.

Al Jordi, per la seva ajuda, les dosis d'optimisme, per creure en mi i no permetre donar-me per vençuda... i per tota la resta.

Gràcies, a tots, de tot cor.

ÍNDEX

Resum.....	i
Resumen.....	iii
Abstract	v
1. Introducció.....	1
1.1. Context i problemàtica	3
1.2. Objectius	11
1.3. Estructura de la tesi	12
1.4. Referències bibliogràfiques.....	14
2. Àrea d'estudi.....	19
2.1. Localització	21
2.2. Clima.....	26
2.3. Geologia i geomorfologia.....	27
2.4. Sòls.....	29
2.5. Vegetació.....	30
2.6. Característiques socioeconòmiques.....	32
2.6.1. Evolució agrícola del s. XII als s. XVIII	33
2.6.2. Expansió agrícola al llarg del s. XIX	33
2.6.3. Abandonament agrícola s. XX	35
2.6.4. El boom vitivinícola: els anys 1990 i 2000	36
2.7. Referències bibliogràfiques.....	38
3. Cartografia dels usos i cobertes del sòl a partir de dades històriques de teledetecció i anàlisi de la seva dinàmica espaciotemporal.....	41
Resum.....	43
3.1. Introducció	45
3.1.1. Processos de canvi a la regió Mediterrània: abandonament i intensificació agrícola	45
3.1.2. L'estudi dels canvis d'usos i cobertes del sòl.....	45
3.1.3. La Teledetecció i els Sistemes d'Informació Geogràfica: eines d'estudi i anàlisi	46
3.1.4. La classificació de fotografies aèries mitjançant xarxes neuronals.....	47
3.1.5. Objectius específics.....	49
3.2. Materials i mètodes	49
3.2.1. Material	50
3.2.1.1. Material cartogràfic i fotogramètric	50
3.2.1.2. Programes informàtics.....	51

3.2.1.3. Altres instruments	51
3.2.2. Mètodes	52
3.2.2.2. Elaboració de cartografia detallada i multitemporal d'usos i cobertes del sòl mitjançant fotointerpretació	55
3.2.2.3. Classificació automàtica d'ortoimatges dels usos del sòl mitjançant propietats texturals i xarxes neuronals	56
3.2.2.4. Anàlisi de la dinàmica espaciotemporal dels usos i cobertes del sòl (1956 – 2005).	59
3.3. Resultats i discussió	61
3.3.1. Base cartogràfica: característiques de les ortoimatges	61
3.3.2. Cartografia d'usos i cobertes del sòl 1956-1986-1998-2003-2005 mitjançant fotointerpretació	63
3.3.3. Cartografia d'usos i cobertes del sòl 1986-1998-2003 mitjançant la classificació de xarxes neuronals i anàlisi de correlació entre metodologies.	70
3.3.4. Anàlisi de la dinàmica espaciotemporal dels usos i cobertes del sòl	74
3.3.4.1. Distribució i taxes de canvi dels usos i cobertes del sòl.....	74
3.3.4.2. Successió espaciotemporal dels usos i cobertes del sòl.....	81
3.3.5. Resum global i discussió dels resultats	89
3.4. Conclusions	92
3.5. Referències bibliogràfiques.....	95
4. Farming strategies and landscape implications.....	101
Abstract	103
4.1. Introduction.....	105
4.2. Material and methods	107
4.2.1. Study area.....	107
4.2.2. Data collection.....	108
4.2.3. Trajectories of the agricultural activities in the study area.....	108
4.2.4. Farming strategies	110
4.3. Results and discussion.....	110
4.3.1. Main agricultural trajectories in the study area (1986-2005)	110
4.3.2. General farming strategies (Global cluster analysis).....	112
4.3.3. Farming strategies with respect to agricultural trajectories.....	114
4.3.4. Comparison between global and specific farming strategies and discussion of results	119
4.4. Conclusions	121
4.5. Annex	123
4.6. References	129

5. Land terracing for new vineyard plantations.....	133
Abstract	135
5.1. Introduction	137
5.2. Material and methods	139
5.2.1. Study area characteristics	139
5.2.2. Traditional versus modern farming systems	140
5.2.3. Terrain modelling changes and related geomorphological effects	142
5.3. Results and discussion.....	144
5.3.1. Terrain morphology changes.....	144
5.3.2. Cost of land terracing operations and influence of the EU subsidies	150
5.4. Conclusions	152
5.5. References	154
6. Effects of land terracing on soil properties: a multivariate analysis	159
Abstract	161
6.1. Introduction	163
6.2. Material and methods	164
6.2.1. Soil sampling.....	164
6.2.2. Soil characteristics.....	165
6.2.3. Statistics	166
6.3. Results and discussion.....	167
6.3.1. Changes in soil characteristics	167
6.3.2. Relationship between variables under different land use treatments: multivariate analysis.....	172
6.4. Conclusions	178
6.5. References	179
7. Conclusions generals	183
7.1. Conclusions	185
7.1.1. Dels canvis produïts en el territori	185
7.1.2. Sobre la metodologia aplicada	187
7.2. Consideracions finals i recomanacions	188

RESUM

El paisatge rural mediterrani ha experimentat canvis importants en els darrers 50 anys. Un exemple n'és la DOQ Priorat (NE Espanya), regió agrícola muntanyosa tradicionalment dedicada al cultiu de la vinya, cultiu que va arribar a ocupar el 74% del territori a finals del s. XIX. Al llarg del s. XX la regió va patir un procés d'abandonament agrícola i de despoblament. Aquesta situació va canviar a partir dels anys 90 amb l'anomenat boom vitivinícola del Priorat que va atreure nous productors i va estendre noves plantacions de vinya. Aquestes, a diferència de les plantacions tradicionals, han comportat la construcció d'aterrassaments mitjançant maquinària pesada i han ocasionat un sever impacte sobre el paisatge amb conseqüències desconegudes fins al moment. La seva expansió ha estat estimulada per polítiques europees, que han finançat els costos dels moviments de terres i de la construcció de terrasses.

Davant d'aquesta situació, la present investigació planteja els següents objectius: a) identificar i analitzar els processos de canvi d'usos a la DOQ Priorat en el període 1956-2005, b) distingir les trajectòries agrícoles i els seus impactes, c) determinar el grau d'incidència de les polítiques europees en les transformacions, i d) identificar i quantificar les alteracions morfològiques i en les propietats del sòl dels nous sistemes d'aterrassament a escala de parcel·la.

L'anàlisi dels canvis d'usos del sòl s'ha realitzat mitjançant tècniques de teledetecció i eines de sistemes d'informació geogràfica. Aquesta inclou la creació d'una nova metodologia de classificació semiautomàtica de fotografies pancromàtiques i la modelització dels canvis morfològics a escala de parcel·la i els impactes derivats. Les dades de canvis d'usos del sòl s'han combinat amb dades socioeconòmiques obtingudes a partir d'enquestes als agricultors. Aquestes s'han treballat mitjançant tècniques estadístiques multivariants per identificar les estratègies agrícoles i les implicacions de les polítiques agrícoles en els canvis. Finalment, s'ha realitzat l'anàlisi d'algunes propietats físiques del sòl superficial en diferents sistemes de cultiu i s'ha utilitzat una combinació de tècniques estadístiques multivariants per avaluar les diferències entre els sistemes tradicionals i els aterassats.

Els resultats confirmen el dinamisme de l'activitat agrícola a la DOQ Priorat amb una transformació del 76% del territori des de 1956. Els processos detectats són l'abandonament de cultius tradicionals del 1956 al 1998 (66% dels cultius) i la intensificació agrícola del 1998 al 2005 (la vinya aterassada s'incrementa un 217% i esdevé el cultiu majoritari). Tanmateix s'ha observat que la intensificació agrícola no ha evitat l'abandonament de cultius tradicionals. Les dades socioeconòmiques mostren la diversitat de sistemes agrícoles a la regió i confirmen que la principal transformació del territori recau sobre els nous propietaris que, tot i només representar el 12% dels agricultors, posseeixen el 61% de les vinyes mecanitzades. Aquests són els majors beneficiaris dels ajuts europeus i n'acaparen el 68% del total.

De la modelització morfològica a escala de parcel·la es dedueix que l'aterrassament mobilitza grans volums de material ($9.460 \pm 900 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$), i el confirma com un fenomen antròpic d'elevat impacte geomorfològic. La manca de disseny tècnic de les terrasses causa el col·lapse dels talussos, que afecta un 3,5% de la superfície cultivada i inutilitza ceps i infraestructures.

Finalment, l'estudi comparatiu de les propietats superficials del sòl revela el deteriorament d'algunes de les propietats en les noves plantacions aterassades. Així mateix, posa de manifest que els treballs de trituració de les pedres superficials no milloren les propietats hidrològiques del sòl, fet que no justifica el cost addicional d'aquesta pràctica.

Els resultats obtinguts han servit de base per a estudis posteriors del territori i han creat coneixement dels canvis agrícoles i del paper que hi tenen les polítiques europees, per la qual cosa ha esdevingut una eina per establir un model de desenvolupament sostenible del territori.

RESUMEN

El paisaje rural mediterráneo ha experimentado importantes cambios durante los últimos 50 años. Un ejemplo es la DOC Priorat, región montañosa tradicionalmente dedicada al cultivo de la vid, que llegó a ocupar el 74% del territorio a finales del siglo XIX. Durante el siglo XX la región sufrió un importante proceso de despoblamiento y abandono agrícola. Esta situación cambió a partir de los años 90 con el boom vitivinícola del Priorat que atrajo nuevos productores y se extendieron nuevas plantaciones de vid. La construcción de las nuevas plantaciones, a diferencia de las tradicionales, requiere de aterrazamientos para la mecanización realizados con maquinaria pesada, y que ocasionan un importante impacto sobre el paisaje de consecuencias desconocidas. Su expansión ha sido estimulada por las políticas europeas, que han financiado los costes de movimientos de tierras y la construcción de nuevas terrazas.

Ante esta situación, en la presente investigación se han planteado los siguientes objetivos: a) cuantificar y analizar los procesos de cambios de uso del suelo en la DOC Priorat en el periodo 1956-2005, b) distinguir las trayectorias agrícolas y sus impactos, c) determinar la incidencia de las políticas europeas en las transformaciones y d) cuantificar las alteraciones morfológicas y en las propiedades del suelo de las nuevas plantaciones de vid aterrazadas a escala de parcela.

El análisis de usos del suelo se ha analizado mediante tecnologías de teledetección e herramientas SIG. Incluye la creación de una nueva metodología de clasificación semiautomática de fotografías pancromáticas y la modelización de los cambios morfológicos a escala de parcela y los impactos derivados. Los datos de los cambios de usos se han combinado con los datos socioeconómicos obtenidos mediante encuestas elaboradas a agricultores. Éstos se han analizado con técnicas estadísticas multivariantes para identificar las estrategias agrícolas y las implicaciones de las políticas agrícolas en los cambios. Finalmente, se ha realizado el análisis de algunas propiedades físicas del suelo superficial en distintos sistemas de cultivo, y se ha utilizado un análisis multivariante para evaluar las diferencias entre los sistemas de cultivo.

Los resultados confirman, en primer lugar, numerosos cambios en los cultivos agrícolas de la DOC Priorat, transformándose el 76% del territorio desde 1956. Los principales procesos detectados son el abandono de los cultivos agrícolas tradicionales desde 1956 a 1998 (66% de los cultivos) y la intensificación agrícola desde 1998 a 2005 (la vid aterrazada incrementa un 217%, convirtiéndose en el cultivo mayoritario). Sin embargo se ha observado que la intensificación agrícola no ha evitado el abandono de cultivos tradicionales. Los datos socioeconómicos muestran la gran diversidad de sistemas agrícolas presentes en la región. Se puede afirmar que la gran transformación del territorio recae sobre los nuevos propietarios que, representando sólo el 12% de los agricultores, poseen el 61% de la vid mecanizada y son los más beneficiados de las ayudas europeas, acaparando el 68% del total.

De la modelización morfológica a escala de parcela se deduce que el aterrazamiento conlleva la movilización de grandes volúmenes de material ($9,460 \pm 900 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$), definiéndolo como un fenómeno antrópico con elevado impacto geomorfológico. La falta de diseño técnico de las terrazas causa el colapso de los taludes afectando al 3,5% del total de superficie cultivada, inutilizando plantas e infraestructuras.

Finalmente, el estudio comparativo de las propiedades superficiales del suelo revela cierta degradación de algunas propiedades de las nuevas plantaciones aterrazadas. Asimismo pone de manifiesto que la práctica de trituración de las piedras superficiales no mejora las propiedades hidrológicas del suelo, por lo que no se justifican los costes adicionales de este trabajo.

Los resultados obtenidos se han utilizado como base en posteriores estudios en el territorio, i han creado conocimiento de los cambios y del papel de las políticas europeas, convirtiéndose en una herramienta para el desarrollo sostenible futuro del territorio.

ABSTRACT

Mediterranean rural landscape has undergone important changes during last 50 years. An example of this situation is the Priorat region (Catalonia, NE Spain), a mountainous area traditionally devoted to vineyards. In late 19th century, vineyard land use peaked, occupying 74% of the land. Later on, during the 20th century, the region suffered from abandonment of agricultural land and a depopulation of rural areas. This situation was only partially overcome in the 90s when a wine market 'boom' attracted producers from other areas and started creating new vineyard plantations. These new plantations required big land terracing performed by bulldozers and backhoe loaders, significantly impacting the landscape with unknown consequences. Furthermore, the expansion of these new mechanized vineyard plantations has been stimulated by the European policies which directly subsidize the land terracing costs.

The objectives of present research were the following: a) to identify and quantify land use changes processes in the Priorat during 1956-2005 period, b) to differentiate main agricultural trajectories and farming systems and associated impacts, c) to assess the influence degree of EU policies on land use change, and finally, d) to identify and quantify geomorphological impacts of new terracing plantations at plot scale and on soil properties.

The methods used included remote sensing and geographic information systems techniques to study land use changes and quantification of morphologic changes of new terraced vineyards. Also, these techniques have been used to create an automated mapping process from black and white aerial photographs. Data showing changes in land use were linked with socio-economic household surveys data. Statistical multivariate analysis were carried out to identify farming strategies and policies implications. Finally, once soil properties were analysed, results have been compared using multivariate analysis to assess changes due to land terracing works.

These results confirm, firstly, a high dynamism of agricultural activity in the Priorat which changed 76% of total land from 1956. The predominant changes in land use are abandonment of traditional land use from 1956 to 1998 (66% of traditional land uses) and agricultural intensifications from 1998 to 2005 (217% increase in terraced vineyard, becoming the primary land use in the Priorat landscape). However, agricultural intensification did not avoid traditional land use abandonment. Socio-economic data showed a high diversity of agricultural land use systems and reveals that main landscape transformation is done by new farmers, which represents only the 12% of the total, but owned the 61% of new mechanized vineyards and were the most benefited by the economical subsidies of European Union, receiving the 68% of total subsidies.

Also, morphologic modelling at plot scale shows that modern land terracing produces huge material displacements ($9.460 \pm 900 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$), confirming it as an anthropic process which is rapidly reshaping terrain morphology in a very short time scale. In addition, no terraces design has led to the collapse of bench and borders affecting 3,5% of the newly-planted area.

The comparison of soil properties in different land use treatment shows a global significant difference between terraced and non-terraced land use, and reveals worse soil properties in new terraced systems. Research results also suggest that additional crushing stone works not only represent an additional economic cost but also can produce a negative impact on soil properties that can harm plant development.

Finally, research results have been the basis for further studies in the area, creating knowledge of agricultural changes and implications for European policies. In this sense, it has been a useful tool to develop a sustainable future development model for the Priorat region.

1. INTRODUCCIÓ

Capítol 1

INTRODUCCIÓ

1.1. CONTEXT I PROBLEMÀTICA

Els processos de canvis d'usos i cobertes del sòl estan tenint lloc en una taxa i extensió espacial sense precedents en la història humana (Lambin et al., 2001). Aquests, i en especial aquells relacionats amb l'agricultura, s'han anat fent notables al llarg del darrer mil·lenni a tot Europa (Rabbinge i van Diepen, 2000). Un clar exemple són els canvis que des dels anys 1950s s'estan produint als ecosistemes de la regió mediterrània, afectats per processos de diferent naturalesa, intensitat i extensió, i que estan subjectes a complexes interaccions biofísiques, socials i culturals, econòmiques i polítiques (Grove, 1996; Margaris et al., 1996). Entre aquests processos destaquen l'expansió urbana i les infraestructures de desenvolupament (p. e. Martí i Pintó, 2003; Weber i Puissant, 2003; Serra et al., 2008), l'abandonament agrícola d'àrees rurals i marginals (p.e. Landi, 1989; Douglas et al., 1994; Lasanta-Martínez et al., 2005; Bielsa et al., 2005) i la intensificació agrícola (p.e. Stoate et al., 2001; Tanrivermis, 2003; Jiménez-Delgado et al., 2004).

L'abandonament i la intensificació agrícola, dos dels processos de canvi més significatius de la regió mediterrània, han estat conduïts per la dinàmica agrícola i presenten característiques oposades.

Pel que fa a l'abandonament agrícola, cal dir que aquest no és únicament resultat de les característiques limitants del territori, sinó que també és conseqüència de problemes socioeconòmics derivats d'altres d'estructurals i de la globalització. La industrialització i les activitats turístiques del s. XX suposaren un important canvi socioeconòmic en les regions rurals a la regió mediterrània, que suposà l'abandonament d'àrees agrícoles poc productives situades en vessants de muntanya a favor de cultius en explotacions en sòls més productius i àrees planes, amb major rendibilitat (Puigdefabregas, 1998). En molts casos, aquest fet ha comportat un despoblament molt important, degradació dels sòls i impactes en la biodiversitat i el paisatge (Garcia-Ruiz, 1997; MacDonald et al., 2000; Faulkner et al., 2003; Lasanta-Martínez et al., 2005).

Així mateix, i oposadament al procés d'abandonament, altres àrees han estat afectades per una intensificació de l'agricultura basada en la mecanització dels cultius i en l'increment de la producció. En molts casos, aquesta mecanització requereix d'una preparació del terreny que comporta forts moviments de terra, anivellaments i aterassaments, que provoquen importants modificacions del paisatge a través de la desforestació i canvis geomorfològics (Borselli et al., 2006), així com una homogeneïtzació del paisatge i una disminució de la diversitat agrícola. Aquestes pràctiques, contràriament a les pràctiques agrícoles tradicionals que tenien un grau d'adaptació elevat a la morfologia del terreny, suposen una alteració significativa, i en molts casos irremparable, del territori.

L'expansió de la Unió Europea ha actuat com a catalitzador de molts dels processos de canvi a les zones rurals i dels impactes ambientals derivats sobre el territori (LUCEA, 2005), els quals han adquirit una gran importància en les dues últimes dècades en l'agricultura europea (Borselli et al., 2006). Els subsidis de la Política Agrària Comunitària han fomentat els moviments de terres, aterassaments i anivellaments per a la transformació del terreny en parcel·les més

fàcilment mecanitzables (Lundekvam et al., 2003; Borselli et al., 2006). Així, molts dels processos de canvis d'usos i cobertes del sòl han estat dirigits per canvis en la política socioeconòmica i agrària (Romero-Calcerrada, 2003; Renwick et al., 2013) i les dinàmiques de mercat, i l'estudi d'aquests ha estat reconegut com a prioritat en la regió mediterrània atesa la vulnerabilitat dels paisatges mediterranis a canviar en el decurs dels processos socioeconòmics (Bielsa, 2002).

Un dels cultius sobre el qual han estat dirigides prioritàriament les transformacions de terres en la regió mediterrània és la vinya. Els anivellaments s'han utilitzat per incrementar la mida de les parcel·les, remoure terrasses tradicionals i crear-ne de noves amb l'objectiu de mecanitzar les explotacions i facilitar el treball de les labors agrícoles. Clars exemples poden trobar-se a la regió del Penedès (Martínez-Casasnovas i Sánchez-Bosch, 2000; Pla i Nacci, 2003; Jiménez-Delgado et al., 2003), la Toscana (Itàlia) (Borselli et al., 2006) i Badacsony Hill (Balaton Lake - Hongria) (Fehér et al., 2004).

Una de les regions mediterrànies que en la darrera dècada ha experimentat una afectació intensa d'aquestes transformacions és el Priorat, el qual compta amb una extensa història de processos de canvis d'ús i cobertes del sòl, catalitzats per la complexa orografia de la regió i la baixa productivitat agrícola. La complexitat fisiogràfica de la regió ha limitat sempre la producció i la rendibilitat econòmica dels cultius, a l'igual de zones mediterrànies de similars característiques.

La vinya, present al Priorat des del s. XII, va esdevenir un monocultiu a finals del s. XIX, moment en què, la crisi del sector, agreujada per la limitada productivitat dels cultius i l'aparició de la fil·loxera, conduïren a un abandonament de les vinyes (Figueras i Calvó, 2003). Tot i el reemplaçament de part d'aquestes per altres cultius llenyosos al llarg del s. XX, la baixa productivitat de les terres i dificultats de maneig, juntament amb les oportunitats de treball en altres zones industrials i turístiques, van donar lloc a un fort procés d'abandonament agrícola. Un testimoni d'aquest procés són els marges de pedra seca que encara es troben visibles en zones muntanyoses colonitzades per bosc i que presenten un deteriorat estat de conservació (Figura 1.1).



Figura 1.1. Zones colonitzades de bosc que antigament havien estat cultivades i que mantenen les terrasses de pedra seca (DOQ Priorat).

Després d'anys de regressió econòmica la tendència agrícola va experimentar un canvi dràstic a partir de la dècada de 1990. Un petit grup de productors va situar els vins de la regió en el nivell de cotització més elevat del mercat internacional, gràcies a la introducció de nous processos tecnològics en la viticultura i a noves tècniques de màrqueting. L'elevada qualitat i les característiques diferencials dels vins van portar a la declaració de la zona com a Denominació d'Origen Qualificada (DOQ), per part del Govern català (DOGC núm. 3294 de 29/12/2000).

El ressò internacional del vi de la DOQ Priorat va despertar l'interès d'una gran quantitat de viticultors i empresaris d'arreu del món. Aquests han estat apostant i invertint fortament a la zona comprant nous terrenys, creant noves plantacions amb drets procedents d'altres zones i arribant a recuperar cultius de vinya vella. La revalorització econòmica del vi de qualitat del Priorat ha permès rendibilitzar les explotacions de la zona, tot superant els costos de maneig i la baixa productivitat. Aquest canvi de tendència ha donat lloc a un nou, accelerat i intensiu procés de canvi dels usos i cobertes del sòl amb l'objectiu de la introducció de nous sistemes de plantacions de vinya abancalada i la recuperació de part de les vinyes tradicionals (*Figura 1.3*).

Les plantacions tradicionals, de carinyena i garnatxa negra com a varietats autòctones més destacades, tenen baixa productivitat (< a 3.000 kg/ha). El sistema de plantació acostuma a seguir les corbes de nivell en parcel·les de mida petita (0,5 a 2 ha). Presenten densitats de plantació més baixes de 3.000 ceps/ha renovats aproximadament cada 50 anys. Aquests sistemes tradicionals mantenen el relleu i pendent natural i les úniques estructures de conservació de sòl són marges de pedra seca col·locats segons el coneixement local en zones de drenatge i de perill de moviments de terra (*Figura 1.2*).



Figura 1.2. Vista general d'una vinya tradicional (en coster) al terme municipal de la Vilella Baixa (DOQ Priorat).

Aquestes plantacions són les més apreciades a la zona per l'alta qualitat i el preu pel raïm arriba a multiplicar per 5 el que s'obté d'altres plantacions.

Per contra, les noves plantacions han estat dissenyades amb l'objectiu de fer front a les limitacions morfològiques del terreny i aconseguir certa mecanització de les explotacions. Aquestes es basen en sistemes de terrasses que modifiquen les condicions naturals de la muntanya (*Figura 1.3*).



Figura 1.3. Vista d'una nova plantació i aterrossaments de vinya al terme municipal de Gratallops (DOQ Priorat).

La seva construcció implica la desforestació del terreny, grans moviments de sòl i roca per poder construir terrasses en els vessants, mitjançant buldòzers i maquinària pesada, en detriment dels cultius llenyosos i de les àrees de vegetació natural existents (*Figura 1.4.*).



Figura 1.4. Treballs de preparació del terreny per a la plantació de vinya aterassada a la finca Les Foreses, Porrera (DOQ Priorat).

El disseny de les terrasses es realitza sense cap tipus de coneixement expert i l'objectiu principal és la construcció de terrasses suficientment amples per a la mecanització, d'uns 2 a 10 m d'amplada. Les noves plantacions tenen densitats més grans, d'uns 5.000 ceps/ha, i poden arribar en certs casos als 9.000 ceps/ha. Sovint les parets de les terrasses no es protegeixen excepte pel creixement de la vegetació natural. En alguns casos fins i tot les roques en superfície són triturades mitjançant una maquinària especial amb la intenció d'aconseguir material superficial més fi. Aquests processos, regits per activitats antròpiques, amb naturalesa i intensitat molt diverses, han ocasionat una completa alteració del sòl i un important impacte sobre el paisatge de la regió (*Figura 1.5.*).

Els canvis que han tingut lloc al Priorat durant aquests darrers anys han posat de manifest el desconeixement tècnic sobre els nous sistemes d'aterrassaments i la manca de control d'aquestes transformacions per part de les administracions actuant. Sovint les transformacions i la construcció dels nous aterrassaments es deixen en mans dels maquinistes, sense comptar amb cap més informació que l'experiència pròpia i l'ànim de la mecanització. Això ha portat que al territori hi hagi una gran diversitat de tipus d'aterrassaments, molts dels quals han despertat la preocupació de les administracions i d'entitats de la comarca pels impactes sobre el sòl i el desenvolupament dels cultius (manca de sistemes de desguàs adequats, despreniment de talussos...), com per la creació d'un paisatge artificialitzat amb la construcció de talussos molt llargs o terrasses amb perfils poligonals (*Figura 1.5.*).



Figura 1.5. Vista d'una nova plantació i aterrassaments de vinya al terme municipal de Bellmunt del Priorat (DOQ Priorat).

A més, els treballs d'aterrassament requereixen de fortes inversions econòmiques (que poden suposar des de 12.000 €/ha fins a 30.000 €/ha). La inversió inicial a realitzar el primer any per a la plantació pot suposar, aproximadament, uns 40.500 €/ha. L'elevada inversió econòmica per a la realització de noves explotacions mecanitzades ha estat compensada per la Política Agrària Comunitària (Reglament (CE) 1227/2000 de la Comissió de 31 de maig de 2000, pel qual s'estableix l'organització comuna del mercat vitivinícola), que mitjançant els Plans de Reestructuració i de Reconversió de la Vinya, han subvencionat entre un 50 i un 75% dels costos dels moviments de terres, aterrassament de costers, preparació del sòl, desempendregat i mecanització de les parcel·les). Aquests ajuts, que són subsidiaris de la normativa espanyola i catalana, han actuat com a pols atractius i catalitzadors d'inversors de naturalesa ben diversa a la regió per a la creació de noves plantacions. Així, des de la primera convocatòria l'any 2000 fins a la campanya 2004-2005, l'aportació econòmica total de les subvencions va ser de més de 3.100.000 € per als moviments de terres i mecanització d'un total de 435 ha en la DOQ Priorat, amb una mitjana de finançament de 7.208 €/ha. De la campanya 2005-2006 a la 2011-2012 es van destinar més de 800.000 € per un total de 348 ha, amb una inversió mitjana de 2.380 €/ha.

Tot i que en els darrers anys el procés de transformació s'ha frenat, la nova situació ha suposat un canvi complet en l'estructura socioeconòmica, el paisatge i el territori de la regió (*Figura 1.5*). Del 2000 al 2003 l'extensió de vinya en la DOQ Priorat es va duplicar, i va passar de 879 ha l'any 2000 a 1.591 ha l'any 2003, i 1.887 l'any 2010 (Font: DOQ Priorat). Seguint aquesta tendència, del 1998 al 2003 la producció es va incrementar en un 60%, fins arribar a quasi triplicar-se el 2010. Així mateix, el nombre de cellers va passar de 24 el 1998, a duplicar-se el 2003, amb 47 cellers, i es va arribar a triplicar el 2010 amb 92 cellers. El municipi de Porrera, un dels més grans pel que fa a extensió de la comarca i que ha estat seleccionat com a àrea

model per la present investigació, ha passat de les 108 ha inscrites l'any 1989 (IDESCAT, 1996) a les 605 ha inscrites el 2005, repartides en un total de 508 parcel·les (Font: DARP) (Figura 1.6). En altres municipis, com Gratallops, la vinya ha passat a ocupar més d'un 35% del total de la superfície del municipi (Font: DARP).



Figura 1.6. Vista general del municipi de Porrera l'any 2004 on hi detaquen els nous aterrossaments de vinya amb els nous sistemes d'abancament.

La manca d'un control real d'aquest procés de canvi per part de les administracions i dels organismes competents ha despertat una inquietud general entre la població i els locals sobre la futura viabilitat i sostenibilitat de les explotacions vitícoles. També per la intensitat i per l'extensió de les transformacions (grans aterrossaments i increment de la mida de les parcel·les) i la diferent naturalesa i interessos dels agents inversors (agricultors tradicionals, empreses familiars, empreses nacionals i internacionals, etc.). La preocupació per les transformacions i la conservació del paisatge ha anat creixent davant l'impacte visual i geomorfològic dels aterrossaments, la regressió de masses forestals o la pèrdua de zones d'especial interès. El nou interès del territori és evitar transformacions de gran extensió i concentrades i preservar els sistemes tradicionals, que aporten major valor afegit. La simbiosi entre paisatge i cultura del vi s'ha anat incrementant i ha donat lloc a un sector turístic de qualitat emergent que podria arribar a ser econòmicament tan important com la pròpia activitat vitícola. A més, el model de màrqueting creat sota la marca Priorat defensa com a emblema la fidelitat al terrer tradicional, integrat en un paisatge que preserva l'essència i l'harmonia amb l'entorn i els conreus.

Per altra banda, la plantació massiva i bona part dels sistemes de terrasses de vinya creats en els darrers anys han posat en qüestió la viabilitat del model. La proliferació de vinyes ha portat també a la disminució del preu del vi. Tot i que el preu mitjà del raïm a la DOQ Priorat es manté superior al de la mitjana de la resta de DO catalanes (durant el període 2006-2008 el preu del raïm de la DOQ Priorat va ser més de 4 vegades superior) en els darrers anys el preu ha disminuït i el 2009-2010 va ser un 25% inferior al període anterior (DARP, 2012). A més, s'ha començat a observar l'abandonament de certes explotacions vitivinícoles per la dificultat de recuperació dels costos inversors, la qual cosa porta a confusió i possibles problemes que podrien atribuir-se a una sobreproducció. L'hipotètic abandonament de les noves plantacions de vinya aterrossades conduiria a un escenari futur on no es podria recuperar la morfologia original

de la muntanya per a nous cultius i problemes d'erosió per l'abandonament del manteniment de les terrasses i altres infraestructures de conservació.

Les darreres polítiques agrícoles de la UE, i contràriament al que es va fer a partir del 2000 es dediquen a subvencionar l'arrencament de vinyes amb l'objectiu de disminuir l'elevada producció local. Aquesta contradicció posa de manifest que sovint les decisions es prenen sense haver-ne avaluat prèviament les conseqüències, i estudis com el que es presenta poden ser bones eines de política i decisió.

Cada vegada s'ha fet més urgent la necessitat dels diferents agents del territori de caracteritzar les transformacions i el seu impacte amb l'objectiu de regular-les i minimitzar-ne els efectes negatius. Així, les administracions locals (ajuntaments, Consell Regulador de la DOQ) i autonòmiques (Departament competent en matèria d'agricultura) responsables han vist la necessitat urgent d'elaborar una legislació específica per al control de les transformacions de terres per a noves plantacions de vinya. La necessitat de conèixer i controlar l'afectació en el paisatge (*Figura 1.7*) també s'ha fet palesa amb l'elaboració de la 'Carta del Paisatge del Priorat'. Aquest document reconeix el valor del paisatge tradicional agrícola del Priorat, i ha servit de base per optar a la candidatura de patrimoni mundial de la UNESCO com a paisatge cultural agrari de la muntanya mediterrània.



Figura 1.7. Vista parcial de la DOQ Priorat (termes municipals de Gratallops, Torroja) on es pot apreciar l'impacte sobre el conjunt del paisatge dels nous sistemes d'aterrassament.

La manca de cartografia actual a una resolució adequada per detectar amb fidelitat els principals processos que afecten el territori (p. e. els aterrossaments de vinyes) va esdevenir un dels factors limitants, per a la gestió i planificació del territori i la presa de decisions administratives (p.ex. a la DOQ Priorat). Aquesta mancança va generar una necessitat administrativa per controlar aquest procés, saber com té lloc, quan, on, el grau d'afectació sobre el territori i el paisatge, etc., per conèixer les possibles conseqüències i, en cas oportú, intentar modificar les actuacions.

Davant els processos de transformació del territori és essencial l'estimació de les taxes de canvi dels usos i cobertes del sòl per tal de determinar-ne la direcció, els problemes i impactes associats, així com la predicció de futures tendències (Lambin, 1997) i assegurar la sostenibilitat

present i futura del sector. En aquest sentit els models d'anàlisi d'usos del sòl representen una aportació d'informació i permeten entendre les causes i les conseqüències de les dinàmiques per tal d'avaluar els impactes i les tendències (Veldkamp i Verburg, 2004) de passades, presents i futures activitats en el medi, tant per l'obtenció de dades de tipus quantitatiu com qualitatiu, ambientals i socioeconòmiques dels usos del sòl (Briassolius, 2000). Són una eina per al planejament i les polítiques que els afavoreixen o els limiten (Veldkamp i Lambin, 2001).

Per això, primer cal cartografiar els usos del sòl. L'aparició de les tècniques de teledetecció, conjuntament amb els sistemes d'informació geogràfica, millora la possibilitat d'obtenir informació de grans àrees d'estudi, tant a escala global com local. En conjunt han esdevingut unes àmpliament aplicades i reconegudes en l'estudi de canvis d'usos i cobertes del sòl. Les diferències en les tècniques utilitzades per a la modelització sovint estan relacionades amb el propòsit a estudi i en l'escala d'anàlisi (Verburg et al., 1999).

Per a la cartografia d'usos i cobertes del sòl el primer que cal determinar és l'escala de treball i la resolució temàtica: l'especificació dels nivells temporals i espacials de detall és d'una importància crucial per a l'anàlisi dels canvis ja que a) determina la selecció dels tipus d'usos i cobertes que seran analitzats b) determina els factors i processos de canvi que podran ser detectats i c) afecta la identificació i explicació de les relacions entre els usos i les cobertes dins d'una estructura espaciotemporal (Briassoulis, 2002).

Per poder caracteritzar els processos de canvi d'usos i coberta cal entendre els processos de presa de decisions, l'impacte espacial de les actuacions, i la interacció entre les activitats humanes i el seu entorn. Aquest és el principal objectiu de la ciència que estudia els canvis d'usos del sòl (Rindfuss et al., 2003). Aquests poden estar relacionats a nivell local o individual i implicar una acció física amb resultats directes sobre la coberta (*proximate causes*) (Lambin et al., 2003) o bé poden ser remots en l'espai i el temps i actuar a nivells més elevats, tals com macroeconòmic o canvis polítics (Serneels i Lambin, 2001) i són considerats exògens (*underlying driving forces*) (Lambin et al., 2003). Sovint aquest estudi requereix la unió de les dades espacials amb dades socioeconòmiques. La majoria de decisions es duen a terme a escala d'agricultor i, per tant, aquest és el nivell d'agregació de dades que aporta la informació més real (Rindfuss et al., 2003).

Això donarà major coneixement de la interacció entre les activitats humanes i el seu entorn a fi de poder actuar eficientment en la presa de decisions.

Els canvis d'usos i coberta produeix una modificació de les condicions de la superfície terrestre i sovint, un impacte sobre el sistema natural. Aquests processos actuen doncs, com una de les principals forces promotores de la degradació ambiental a la regió mediterrània a través dels seus impactes sobre els recursos sòl i aigua (Zalidis et al., 2002) i en la biodiversitat. Aquests canvis afecten la dinàmica dels sistemes naturals i especialment la funció hidrològica i geomorfològica de les vessants i els canals fluvials (Garcia-Ruiz et al., 1996; Brierley i Stankoviansky, 2003). Pot comportar, doncs, un procés de degradació de sòls entès com la reducció de la productivitat biològica i econòmica ocasionada per un canvi en els usos del sòl, un procés físic, o una combinació d'ambdós. Aquests inclouen processos que van des de l'erosió del sòl, la deterioració de les propietats físiques, químiques i biològiques del sòl, i una pèrdua de vegetació a llarg termini (Thornes, 1996).

Aquests canvis estan tenint lloc sense conèixer ni considerar l'impacte que els intensos processos d'alteració edafològica i morfològica poden portar associats tant a nivell de parcel·la com a una major escala de treball (e.g. Nacci, 2001; Jiménez-Delgado et al., 2004; Borselli et

al., 2006). En el cas de les transformacions per a la mecanització de les vinyes en el Penedès aquests processos han comportat un increment dels problemes erosius (Nacci, 2001; Jiménez-Delgado, 2004).

En concret, l'aterrament dels vessants de muntanyes representa un procés geomorfològic induït per l'home, i sovint és el procés amb major afectació sobre l'erosió i el canvi paisatgístic actuant a nivell de parcel·la i dels vessants de muntanyes (Borselli et al., 2006). Tot i que, durant els darrers 50 anys, l'anivellament i l'aterrament ha guanyat importància en l'agricultura europea, els problemes o impactes associats no han estat àmpliament estudiats.

En general aquest tipus d'aterrament produeix importants transformacions topogràfiques i edafològiques, les quals redueixen l'erosió superficial i incrementen la infiltració de l'aigua. A més a més, permeten una major mecanització de les zones on el pendent natural no permet el pas de maquinària. Per contra, i com a resultat, desencadenen altres problemes com ara l'enterrament del sòl original, canvis en les propietats físiques i biològiques del sòl (Querejeta et al., 2000), la formació de barrancs profunds (Brierley i Stankoviansky, 2003), canvis en el règim hidrològic, l'increment de moviments en massa deguts a la inconsistència dels nous pendents (Shrestha et al., 2004; Abreu, 2005), i un impacte visual significatiu en contrast amb l'entorn natural.

En aquest context es desenvolupa el present treball d'investigació, focalitzat a avaluar els processos de canvi en els usos i cobertes del sòl que han caracteritzat la dinàmica agrària del Priorat des de l'any 1956 a l'any 2005, i la identificació de les principals causes socioeconòmiques i polítiques actuant. Es vol identificar també els diferents tipus d'explotació agrícola i els sistemes de maneig que existeixen, així com el perfil d'agricultor corresponent. Aquesta informació ha de permetre entendre millor els processos de canvi, els agents causants i les estratègies de desenvolupament, les intervencions en el territori i l'impacte derivat. Paral·lelament, es pretén determinar l'impacte dels nous sistemes d'aterrament en el paisatge a escala de parcel·la i escala local, i fer una avaluació de les principals afectacions als sòls en els diferents tipus de maneig.

1.2. OBJECTIUS

Els **objectius principals** de la investigació són:

- Analitzar les transformacions històriques i actuals dels usos i cobertes de sòl en el paisatge rural mediterrani de la DOQ Priorat, a escala detallada, mitjançant l'aplicació de tècniques de teledetecció i eines SIG. S'avalua també una metodologia de classificació de fotografies aèries pancromàtiques semiautomàtica.
- Identificar els sistemes agrícoles i els impactes en el paisatge, així com la influència de les polítiques agrícoles, a escala de propietari, agent directe sobre el que recau la presa de decisions de les actuacions sobre el territori.
- Identificar i quantificar les alteracions morfològiques dels nous sistemes d'aterrament a escala de parcel·la, versus el maneig tradicional, i les possibles alteracions en les principals propietats del sòl.

Aquesta investigació serveix com a eina per al control i la gestió dels processos de canvis d'usos i cobertes i dels agents actuant a nivell local, i l'impacte generat, amb l'objectiu de disminuir la vulnerabilitat del territori i garantir-ne la sostenibilitat futura.

1.3. ESTRUCTURA DE LA TESI

L'estudi s'estructura en 7 capítols (*Figura 1.8*) i aquests es corresponen als articles científics originals següents:

Capítol 1. **Introducció**

Capítol 2. **Àrea d'Estudi**

Objectius específics

Capítol 3. **Cartografia dels usos i cobertes del sòl a partir de dades històriques de teledetecció i anàlisi de la seva dinàmica espaciotemporal**

Inclou l'article original:

- Cots-Folch, R., Aitkenhead, M. J., Martínez-Casasnovas, J.A. 2007. Mapping land cover from detailed aerial photography data using textural and neural network analysis. *International Journal of Remote Sensing*, 28 (7), 1625–1642.

Chapter 4. **Farming strategies ans landscape implications**

Basat en els articles originals:

- Cots-Folch, R., Martínez-Casasnovas, J.A., Ramos, M.C. 2009. Agricultural trajectories in a Mediterranean mountain region (Priorat, NE Spain) as a consequence of EU vineyard conversion plans. *Land Degradation & Development*, 20, 1-13.
- Cots-Folch, R., Martínez-Casasnovas, J.A., Ramos, M.C. 2008. Farming Strategies and landscape implications in the Priorat vineyard Regions (NE Spain). In: Dazzi, C and Costantini, E. (eds), *The Soils of Tomorrow, Serie Advances in GeoEcology*. Ed. Catena Verlag, Reiskirchen, Germany, 101-116.

Chapter 5. **Land terracing for new vinyard plantations**

Basat en els articles originals:

- Cots-Folch, R., Martínez-Casasnovas, J.A., Ramos, M.C. 2006. Land terracing for new vineyard plantations in the north-eastern Spanish Mediterranean region: Landscape effects of the EU Council Regulation policy for vineyards' restructuring. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 115, 88-96.
- Martínez-Casasnovas JA, Ramos MC, Cots-Folch R. 2010. Influence of the EU CAP on terrain morphology and vineyard cultivation in the Priorat region of NE Spain. *Land Use Policy*, 27, 11-21.

Chapter 6. **Effectes of land terracing on soil properties: a multivariate analysis**

Basat en els articles originals:

- Ramos, M.C., Cots-Folch, R., Martínez-Casasnovas, J.A., 2007. Effects of land terracing on soil properties in the Priorat region in northeastern Spain: A multivariate analysis. *Geoderma* 142, 251-261.

Capítol 7. **Conclusions generals**

Al Capítol 2 es descriuen les característiques de l'àrea d'estudi.

Els Capítols 3, 4, 5 i 6 inclouen els objectius de la tesi. Cada capítol s'estructura amb:

- Introducció, on s'exposa la problemàtica concreta i els antecedents científics i metodològics.
- Materials i mètodes, amb la descripció concreta de la metodologia utilitzada en cada objectiu.
- Resultats i discussió.
- Conclusions específiques de l'objectiu del capítol.

- i. El Capítol 3 recull l'anàlisi del canvi d'usos del sòl. Inclou diverses metodologies. Una primera és la elaboració de la **base cartogràfica multi-temporal i detallada** (1:5.000) (1956-1986-1998-2003-2005) a partir de la ortorectificació de fotografies aèries i imatges de satèl·lit d'alta resolució del municipi de Porrera (DOQ Priorat). La base ha de permetre representar i localitzar amb fidelitat els usos històrics i actuals del territori i els sistemes de maneig, com els nous sistemes d'aterrassaments de vinya o els abandonaments de cultius tradicionals. Aquests no es troben reflectits en la cartografia disponible i resulten imprescindibles per analitzar els principals processos de transformació que han tingut lloc.

La segona és l'elaboració d'una metodologia per a la **classificació semiautomàtica i objectiva d'imatges a partir de xarxes neuronals** com alternativa al procés de fotointerpretació.

Aquesta metodologia de classificació s'ha desenvolupat durant una estada d'investigació al centre de recerca Macaulay Land Use Research Institute (actuantment The James Hutton Institute), a Aberdeen (Regne Unit).

I la tercera, presenta un estudi de l'**evolució espacio-temporal, la successió i dinàmica de canvi** que té lloc entre les categories d'**usos i cobertes del sòl** per identificar els processos de canvis d'usos al Priorat.

- ii. En el Capítol 4 s'**analitzen les principals trajectòries agrícoles** que han tingut lloc a la regió durant el període 1986-2005 així com els principals sistemes agrícoles que coexisteixen a la regió. L'anàlisi caracteritza els agents del territori i la seva presa de decisions el que permet aprofundir en la relació societat i paisatge, els impactes derivats així com la influència de les ajudes de la PAC.

Aquesta treball s'ha realitzat gràcies a una estada d'investigació al Departament de Geografia de la Universitat de Lovain, a Louvain-la-Neuve (Bèlgica).

- iii. En el Capítol 5 es presenta la investigació sobre **la quantificació i avaluació dels canvis geomorfològics a escala de parcel·la** davant la introducció dels nous sistemes de vinya mecanitzada, així com els riscos geomorfològics derivats.

En aquest capítol s'analitza **la influència i efectes de les polítiques europees al Priorat**.

- iv. El Capítol 6 recull una **avaluació de les diferències en algunes propietats del sòl** en els nous sistemes de vinya mecanitzada, resultat dels processos d'aterrassaments versus els sistemes de tradicionals que conserven el sòl i la morfologia natural del pendent.

El Capítol 7 conté les conclusions generals.

1.4. REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES

- Abreu X. 2005. Evaluación del efecto de las propiedades hidrológicas y sistema de manejo sobre la susceptibilidad a erosión superficial y en masa en suelos pedregosos con viña del Priorato (Cataluña, España). PhD Thesis. University of Lleida, Lleida, Spain.
- Bielsa I., Pons X., Jong de S., Jongman R., van Lammeren R., 2002. Landscape metrics as a planning tool for mediterranean rural landscape. Wageningen UR. Center for Geo-Information. Netherlands. Disponible a <http://networks.geog.uu.nl>
- Bielsa I., Pons X., Bunce B., 2005. Agricultural Abandonment in the North Eastern Iberian Peninsula: The Use of Basic Landscape Metrics to Support Planning *Journal of Environmental Planning and Management*, 48, 85-102.
- Borselli L., Torri D., Øygarden L., De Alba S., Martínez-Casasnovas J.A., Bazzoffi P., Jakab G., 2006. Soil erosion by land levelling. In: Boardman, J., Poesen, J. (Eds.), *Soil Erosion in Europe*. John Wiley and Sons, Inc., pp. 643–658.
- Briassoulis H., 2000. Analysis of land use change: theoretical and modeling approaches. In Loveridge, S. (ed). *The web book of regional science*. West Virginia University, Morgantown, US.
- Brierley G., Stankoviansky M., 2003. Geomorphic responses to land use change. *Catena* 51, 173-179.
- Douglas T.D., Kirkby S.J., Critchkey R.W., Park, G.J., 1994. Agricultural terrace abandonment in the Alpujarra, Andalucía, Spain. *Land Degradation & Rehabilitation*, 5, 281-291.
- Faulkner H., Ruiz J., Zukowskyj P., Downward S., 2003. Erosion risk associated with rapid and extensive agricultural clearances on dispersive materials in southeast Spain. *Environmental Science & Policy*, 6, 115–127
- Fehér O., Madarász B., 2004. Historical land use change of wine growing areas developed on volcanic soils in Hungary. En: 4th International Congress of the ESSC. (Ed. Kertész, A., et al). Budapest. (Hungria), pp 200-202
- Figueras A., Calvo J., 2003. El Priorat, la vinya i el vi. Carrutxa i Centre de Promoció de la Cultura Popular i Tradicional Catalana (Departament de Cultura. Generalitat de Catalunya). 15 pàgines.
- García-Ruiz J.M., Lasanta T., Ruiz-Flano P., Ortigosa L., White S., González C., Martí C., 1996. Land-use changes and sustainable development in mountain areas: a case study in the Spanish Pyrenees. *Landscape Ecology*, 11, 267-277.
- García-Ruiz J.M., 1997. La agricultura tradicional de montaña y sus efectos sobre la dinámica hidromorfológica de laderas y cuencas. En: García-Ruiz, J.M., López-García, P. *Acción humana y desertificación en ambientes mediterráneos*. Instituto Pirenaico de Ecología (CSIC). Zaragoza, 119-144.
- Grove A.T., 1996. The historical context: before 1850. Chapter 2. In: Brandt, C.J., Thornes, J. (Eds.), *Mediterranean Desertification and Land Use*. Wiley, Chichester, pp. 13– 28.
- Jiménez-Delgado M., Martínez-Casasnovas J.A., Ramos M.C., 2003. Impacte de les transformacions de terres i canvis d'usos del sòl en l'erosió hídrica en vinyes de l'Alt Penedès (Anoia). En: *Els Paisatges de la Vinya*. Actes núm. 5, Publicaciones del Centre d'Estudis del Bages, Manresa, ISBN 84-87618-76-6, pp: 279 - 286.

Jiménez-Delgado, M., 2004. Impactes de les transformacions de les terres i canvis d'usos del sòl en l'erosió hídrica en les vinyes de l'Alt Penedès-Anoia. Projecte Final de Carrera. ETSEA. Universitat de Lleida. Espanya.

Jiménez-Delgado M., Martínez-Casasnovas J.A, Ramos M.C., 2004. Land transformation, land use changes and soil erosion in vineyard areas of NE Spain. In: Kertész, A., Kovács, A. Csuták, M., Jakab, G., Madarász, B. (Eds.), Proceedings Volume of the 4th International Congress of the ESSC. Hungarian Academy of Sciences, Geographical Research Institute, Budapest, Hongria, pp. 192–195.

Lambin E.F., 1997. Modelling and monitoring land-cover change processes in tropical regions. *Progress in Physical Geography*, 21, 375–393.

Lambin E.F., Turner II B.L., Geist H., Agbola S., Angelsen A., Bruce J.W., Coomes O., Dirzo R., Fischer G., Folke C., George P.S., Homewood K., Imbernon J., Leemans R., Li X., Moran E.F., Mortimore M., Ramakrishnan P.S., Richards J.F., Skånes H., Steffen W., Stone G.D., Svedin U., Veldkamp T., Vogel C., Xu J., 2001. *Global Environmental Change*, 11, 261–269.

Lambin, E.F., Geist, H., Lepers, E., 2003. Dynamics of land use and cover change in tropical regions. *Annual Review of Environment and Resources* , 28, 205-241.

Landi, R.F., 1989. Revision of land management systems in italian hilly area. *Soil Technology Series 1*. pp. 175-188.

Lasanta-Martínez T., Vicente-Serrano S.M., Cuadrat-Prats J.M., 2005. Mountain mediterranean landscape evolution caused by the abandonment of traditional primary activities: a study of the Spanish Central Pyrenees. *Applied Geography*, 25, 47-65

LUCEA, 2005. In: International workshop: European Union Expansion: Land Use Change and Environmental Effects in Rural Areas. (Ed. Hoffmann, L., Lewis, L.), Luxembourg (Luxembourg), 4 - 7 September 2005.

Lundekvam H.E., Romstad E., Øygarden L., 2003. Agricultural policies in Norway and effects on soil erosion. *Environmental Science and Policy*, 6, 57-67.

MacDonal D., Crabtree J.R., Wiesinger G., Dax T., Stamou N., Fleury P., Gutierrez Lazpita J., Gibon A., 2000. Agricultural abandonment in mountain areas of Europe: Environmental consequences and policy response. *Journal of Environment Management*, 59, 47-69.

Margaris N.S., Koutsidou E., Giourga Ch., 1996. Changes in traditional Mediterranean land-use systems Chapter 3. In: Brandt, C.J. and Thornes, J. (Eds.), *Mediterranean Desertification and Land Use*. Wiley, Chichester, pp. 29–42.

Martí C., Pintó J., 2003. Metodologia d'anàlisi de la transformació del paisatge de la Costa Brava en els darrers 50 anys per mitjà dels canvis en els usos i les cobertes del sòl. A: Actas del IV Congrés de la Ciència del Paisatge. Univ. de Barcelona. Castelló d'Empúries (Girona), 15 - 17 d'octubre de 2003.

Martínez-Casasnovas J.A., Sánchez-Bosch I., 2000. Impact assessment of changes in land use / conservation practices on soil erosion in the Penedès – Anoia vineyard region (NE Spain). *Soil and Tillage Research*, 57, 101-106.

Nacci, S.S., 2001. Alteraciones en el régimen hídrico del suelo asociado a la sistematización y cambios en el manejo de tierra con viña de secano en Anoia-Alt Penedés. Tesis doctoral. Universidad de Lleida. Catalunya (Espanya).

- Pla I., Nacci S., 2003. Impacts of mechanization on surface erosion and mass movements in vineyards of the Anoia- Alt Penedès Area (Catalonia, Spain) In: "Sustaining the Global Farm". (Scott, D.E. et al., ed). pp 812-816. Purdue Univ.-USDA, ARS. West Lafayette, In. (USA).
- Puigdefabregas J., 1998. Implications of regional scale policies on land condition and land degradation in the Mediterranean basin. In: Global Change and Terrestrial Ecosystems, (Ed.), The Earth Changing Land. GCTE-LUCC Open Science Conference on Global Change. GCTE., Barcelona.
- Querejeta J.I., Roldán A., Albaladejo J., Castillo V., 2000. Soil Physical Properties and Moisture Content Affected by Site Preparation in the Afforestation of a Semiarid Rangeland. *Soil Science Society of America Journal*, 64, 2087-2096.
- Rabbinge R., van Diepen C.A., 2000. Changes in agriculture and land use in Europe. *European Journal of Agronomy*, 13, 85-99.
- Renwick A., Jansson T., Verburg P.H., Revoredo-Giha C., Britz W., Gocht A., McCracken D., 2013. Policy reform and agricultural land abandonment in the EU. *Land Use Policy*, 30 (1), 446-457.
- Rindfuss R.R., Walsh S.J., Mishra V., Fox J., Dolcemascolo G.P., 2003. Linking household and remotely sensed data : methodological and practical problems. In : Fox J., Rindfuss R.R., Walsh S.J., Mishra V. (Editors). *People and the Environment. Approaches for linking household and community surveys to remote sensing and GIS*. Boston: Kluwer Academic Publisher, 319 pp.
- Romero-Calcerrada R., Perry G.L.W., 2004. The role of land abandonment in landscape dynamics in the SPA 'Encinares del río Alberche y Cofio, Central Spain, 1984-1999, *Landscape and Urban Planning*, 66 (4), 217-232.
- Serneels S., Lambin E.F., 2001. Proximate causes of land-use change in Narok District, Kenya: a spatial statistical model. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 85 (1-3), 65-81.
- Serra P., Pons X., Saurí D. 2008. Land-cover and land-use change in a Mediterranean landscape: A spatial analysis of driving forces integrating biophysical and human factors. *Applied Geography*, 28 (3), 189-209.
- Shrestha D.P., Zinck J.A., Van Ranst E., 2004. Modelling land degradation in the Nepalese Himalaya. *Catena*, 57, 135-156.
- Stoate C., Boatman N.D., Borralho R.J., Rio Carvalho C., de Snoo G.R., Eden P., 2001. Ecological impacts of arable intensification in Europe. *Journal of Environmental Management*, 63, 337-365.
- Tanrivermis H., 2003. Agricultural land use change and sustainable use of land resources in the mediterranean region of Turkey. *Journal of Arid Environments*, 54, 553-564.
- Thornes J.B., 1996. Introduction. Chapter 1. In: Brandt, C.J., Thornes, J. (Eds.), *Mediterranean Desertification and Land Use*. Wiley, Chichester, pp 13-28.
- Veldkamp A., Lambin E.F., 2001. Editorial: predicting land-use change. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 85, 1-6.
- Veldkamp, A., Verburg, P.H., 2004. Modelling land use change and environmental impact. *Journal of Environmental Management*, 72 (1-2), 1-3.

Verburg P.H., Koning G.H.J., Kok K., Veldkamp A., Bouma J., 1999. A spatial explicit allocation procedure for modeling the pattern of land use change upon actual land use. *Ecological Modelling*, 116, 45-61.

Weber C., Puissant A. 2003. Urbanization pressure and modeling of urban growth: example of the Tunis Metropolitan Area. *Remote Sensing of Environment*, 86 (3), 341-352.

Zalidis G., Stamatiadis S., Takavakoglou V., Eskridge K., Misopolinos N., 2002. Impacts of agricultural practices on soil and water quality in the Mediterranean region and proposed assessment methodology. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 88, 137-146.

2. ÀREA D'ESTUDI

Capítol 2

ÀREA D'ESTUDI

2.1. LOCALITZACIÓ

L'àrea d'estudi es localitza a la regió vitivinícola Denominació d'Origen Qualificada Priorat (DOQ Priorat), a Catalunya, al NE d'Espanya. Aquesta regió està inclosa a la comarca del Priorat, amb Falset com a capital (*Figura 2.1*).

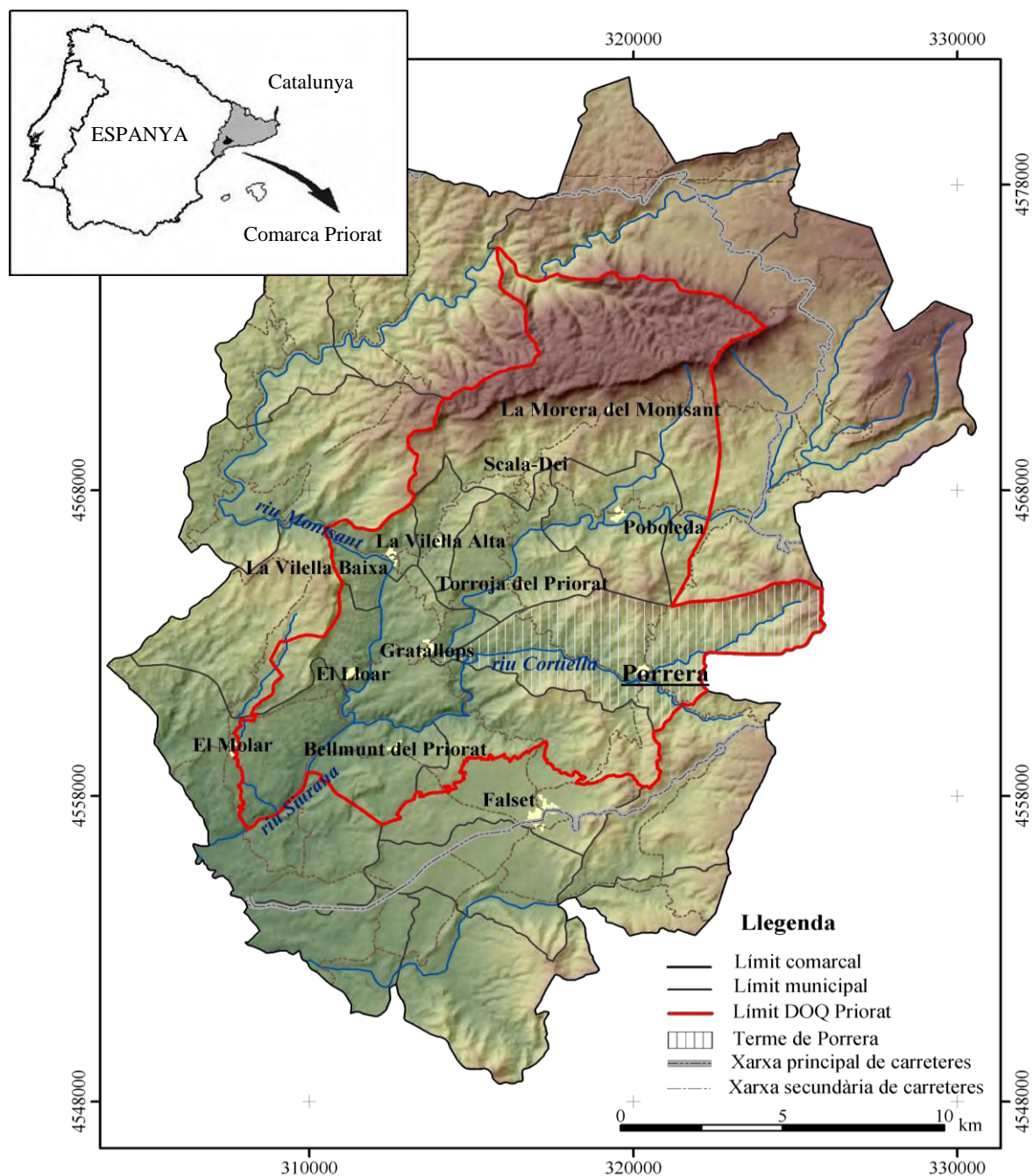


Figura 2.1. Localització de l'àrea d'estudi dins de la comarca del Priorat i dels límits de la DOQ Priorat. Font: elaboració pròpia.

Criteris històrics, administratius i geològics han dividit la comarca administrativa en 4 regions, una de les quals és l'anomenat Priorat històric o geològic, i que es correspon amb els límits de la DOQ Priorat.

La delimitació de la DOQ Priorat es basa en criteris edafològics i es caracteritza pel sòl característic anomenat localment *llicorells* o de *llicorella*, format a partir d'esquistes i/o pissarres més o menys metamorfosades, que confereix particulars propietats per al desenvolupament dels cultius i de la vinya en especial (Nadal, 2002). Dins la DOQ Priorat també s'inclou part d'influència de la Serralada del Montsant amb característiques diferencials als sòls de llicorella.

La superfície total de la DOQ Priorat és de 17.604,3 ha i inclou 9 termes municipals (Bellmunt del Priorat, Gratallops, El Lloar, La Morera de Montsant, Poboleda, Porrera, Torroja del Priorat, La Vilella Alta i La Vilella Baixa) i 2 termes municipals de forma parcial, El Molar i Falset (*Taula 2.1*).

Taula 2.1. Superfície per termes municipals inclosa dins la delimitació DOQ Priorat.

<i>TERMES MUNICIPALS</i>	<i>SUPERFÍCIE (ha)</i>	<i>% SUPERFÍCIE TOTAL DOQ</i>
<i>Bellmunt del Priorat</i>	894,7	5,1
<i>El Lloar</i>	648,4	3,7
<i>El Molar (dins DOQ)</i>	1.010,7	5,7
<i>Falset (dins DOQ)</i>	1.711,2	9,7
<i>Gratallops</i>	1.347,5	7,7
<i>La Morera de Montsant</i>	5.291,8	30,1
<i>La Vilella Alta</i>	511,7	2,9
<i>La Vilella Baixa</i>	582,4	3,3
<i>Poboleda</i>	1.393,0	7,9
<i>Porrera</i>	2.895,9	16,5
<i>Torroja del Priorat</i>	1.316,9	7,5
<i>TOTAL DOQ Priorat</i>	17.604,3	100,0

Font: Elaboració pròpia a partir de dades procedents del cadastre digital de 2003 i límits administratius municipals.

La DOQ Priorat s'estén al llarg del riu Siurana i dels seus afluents, el Montsant i el Cortiella. És una regió muntanyosa dominada per muntanyes d'elevat pendent (40-45%). El rang altitudinal està comprès entre els 80 i els 1.140 m. Més del 75% de la superfície total està localitzada entre els 200 i els 700 m per sobre del nivell del mar (*Figura 2.2*).

El pendent mitjà de la DOQ Priorat és del 29% ± 20 (15° \pm 10), i més del 65% del territori presenta valors compresos entre el 20 i el 60%. Més del 45% del territori es troba amb valors de pendent mitjà superior al 30% (*Figura 2.3*).

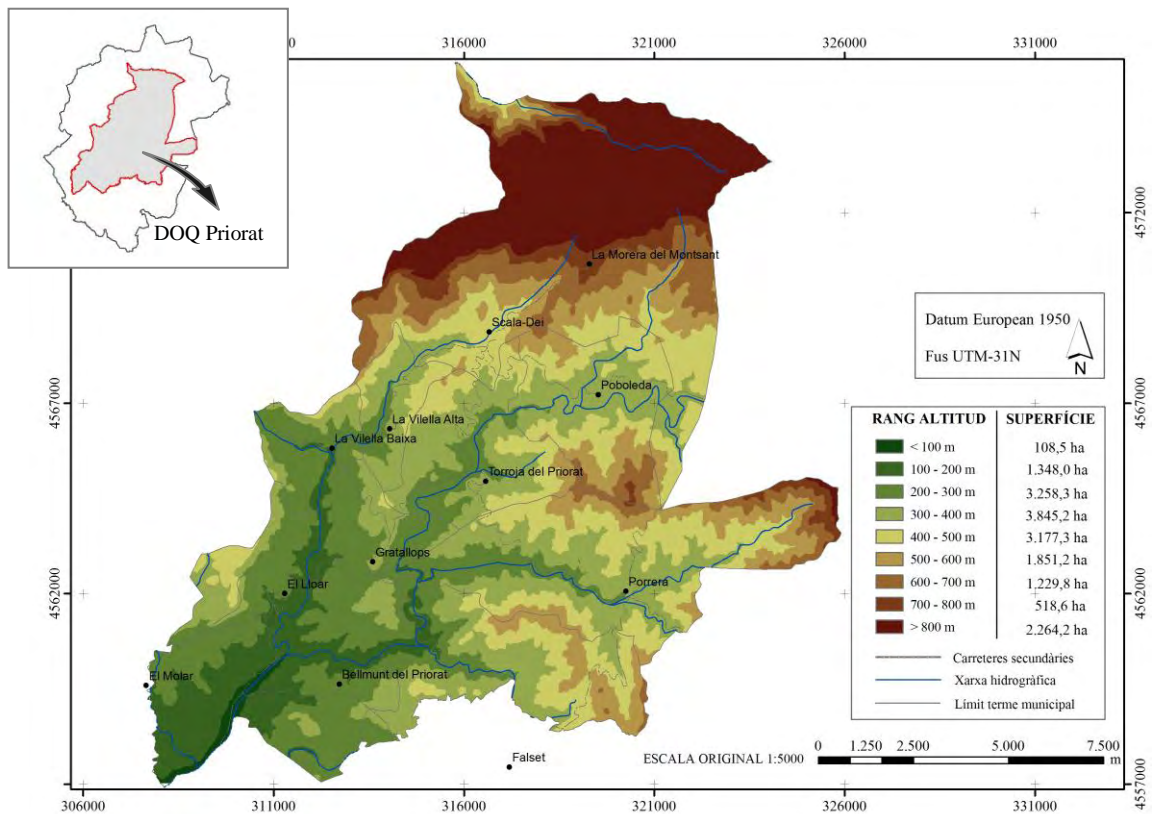


Figura 2.2. Mapa d'altitud i superfície corresponent a la DOQ Priorat. Font: elaboració pròpia en base al mapa topogràfic 1:5.000 de l'ICC.

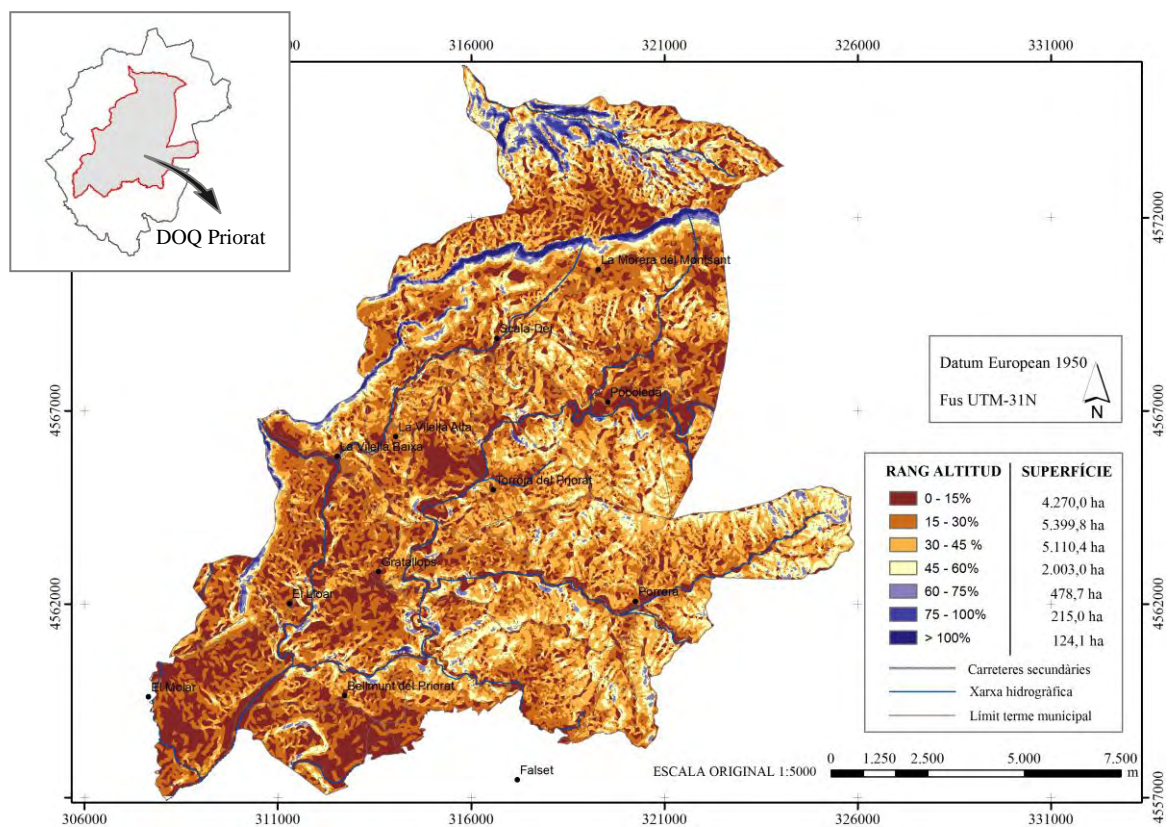


Figura 2.3. Mapa de pendents i superfície corresponent a la DOQ Priorat. Font: elaboració pròpia en base al mapa topogràfic 1:5.000 de l'ICC.

Tot i que la caracterització de l'àrea s'ha desenvolupat a nivell de la DOQ, l'estudi s'ha centrat en el terme municipal de Porrera (*Figura 2.5*). Aquest és el municipi de la DOQ Priorat amb major superfície, sense considerar la Morera de Montsant que presenta característiques topogràfiques, geològiques i edafològiques particulars que determinen unes condicions agronòmiques diferents a la resta del territori que conforma la DOQ.



Figura 2.4. Vistes generals del municipi de Porrera.

El terme municipal de Porrera abasta una superfície de 2.895 ha i representa el 16,5% de la DOQ Priorat. El municipi s'estén al llarg de la vall del riu Cortiella. El municipi està comprès entre les coordenades X: 313.375 a 325.906 i Y: 4.565.062 a 4.560.119 segons el sistema de referència UTM 31n zona T.

El rang altitudinal del terme municipal està comprès entre els 175 i 911 m, amb un 75% de la superfície total localitzada entre els 300 m i els 600 m per sobre del nivell del mar. El pendent és un dels principals factors topogràfics que caracteritza la regió i el municipi de Porrera. Aquest presenta un valor mitjà del 46%, i cal tenir en compte que més del 65% del total del territori presenta valors compresos entre el 40 i el 60% (*Figura 2.5 i Figura 2.6*).

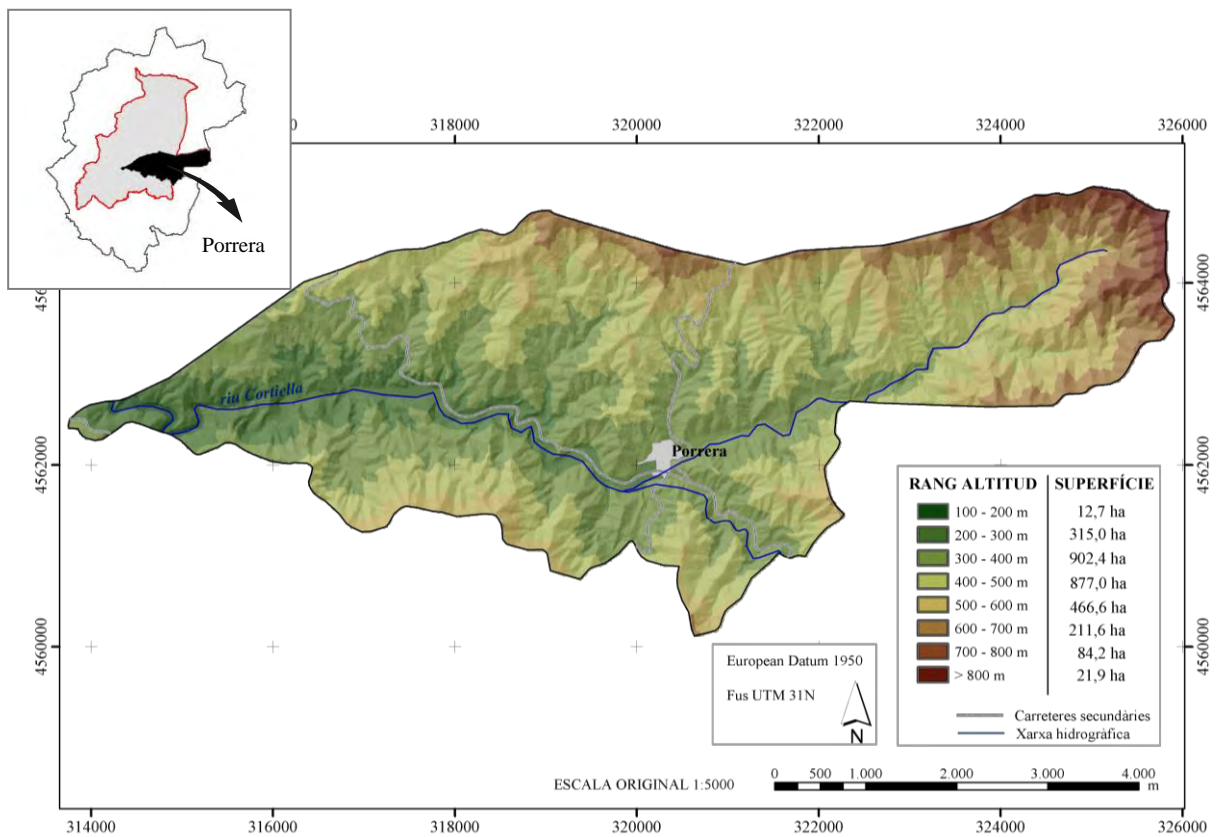


Figura 2.5. Mapa d'altitud i superfície corresponent del terme municipal de Porrera. Font: elaboració pròpia en base a topogràfic 1:5.000 de l'ICC.

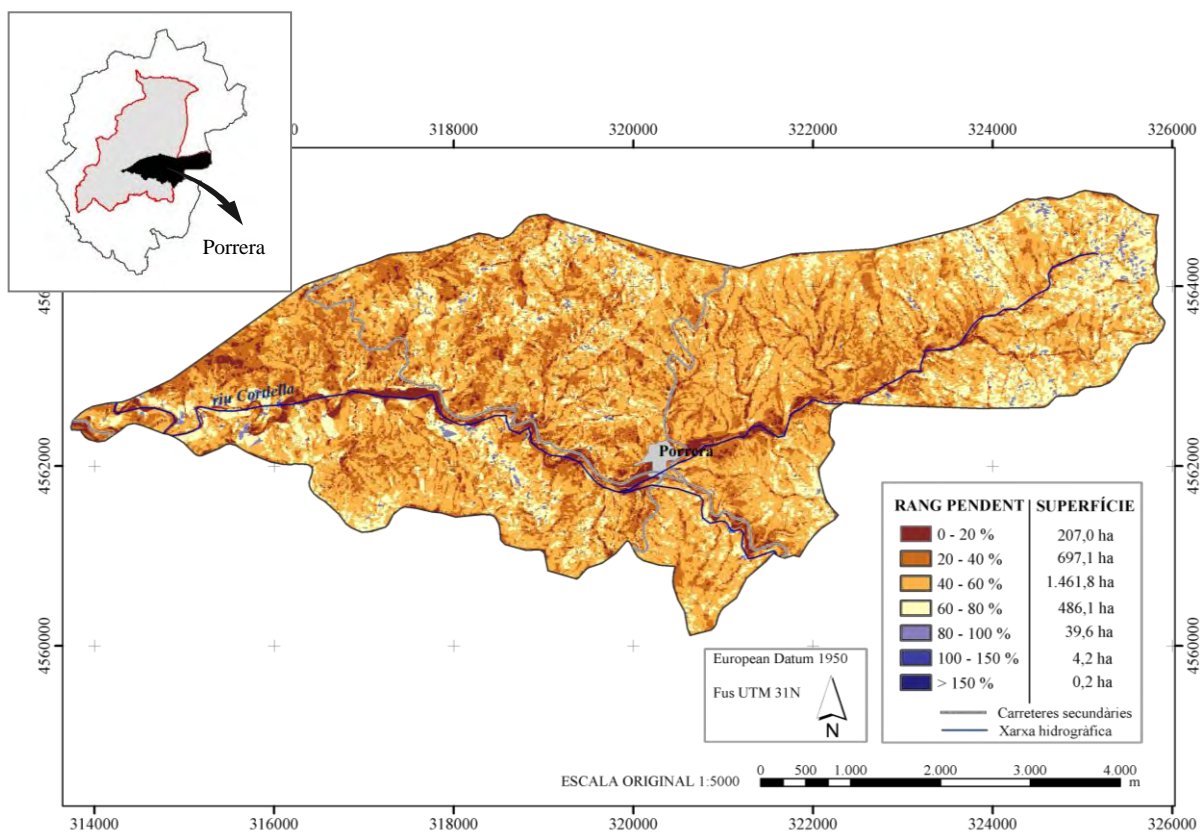


Figura 2.6. Mapa de pendent i superfície corresponent a la DOQ Priorat. Font: elaboració pròpia en base a topogràfic 1:5.000 de l'ICC.

2.2. CLIMA

El clima del Priorat està classificat com a mediterrani temperat amb tendència a la continentalitat. Està caracteritzat per estius secs i calents i hiverns suaus, amb uns màxims de pluja durant la primavera i la tardor. La temperatura mitjana anual és de 14°C, amb canvis diürns i anuals més bruscs a la primavera i la tardor. La precipitació mitjana oscil·la entre els 450 mm i els 650 mm anuals, però són molt irregulars d'un any a l'altre (que poden anar des de 300 mm fins a 900 mm), i dins un mateix any. La temperatura mitjana oscil·la de -1°C a 27 °C, amb valors màxims més grans de 35°C durant els mesos de juliol i agost, i mínims sota zero durant l'hivern. Això genera dèficits significants a l'estiu, durant el període de maduració del raïm.

L'estació meteorològica de la Xarxa d'Estacions Meteorològiques del Servei Meteorològic de Catalunya més representativa de l'àrea d'estudi és la ubicada al municipi de Torroja del Priorat (dins la DOQ Priorat), municipi geogràficament veí a Porrera (*Taula 2.2 i Figura 2.5*).

Taula 2.2. Resum anual de la precipitació i la temperatura mitjana pel període 2004-2011 a l'EMA de Torroja del Priorat (Font: METEOCAT).

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
<i>T° mitjana anual</i>	14,9	14	15,8	15,2	14,9	15,7	14,6	15,2
<i>P anual (mm)</i>	406,4	463,2	333,5	394,6	683,2	439,8	517,9	394,6

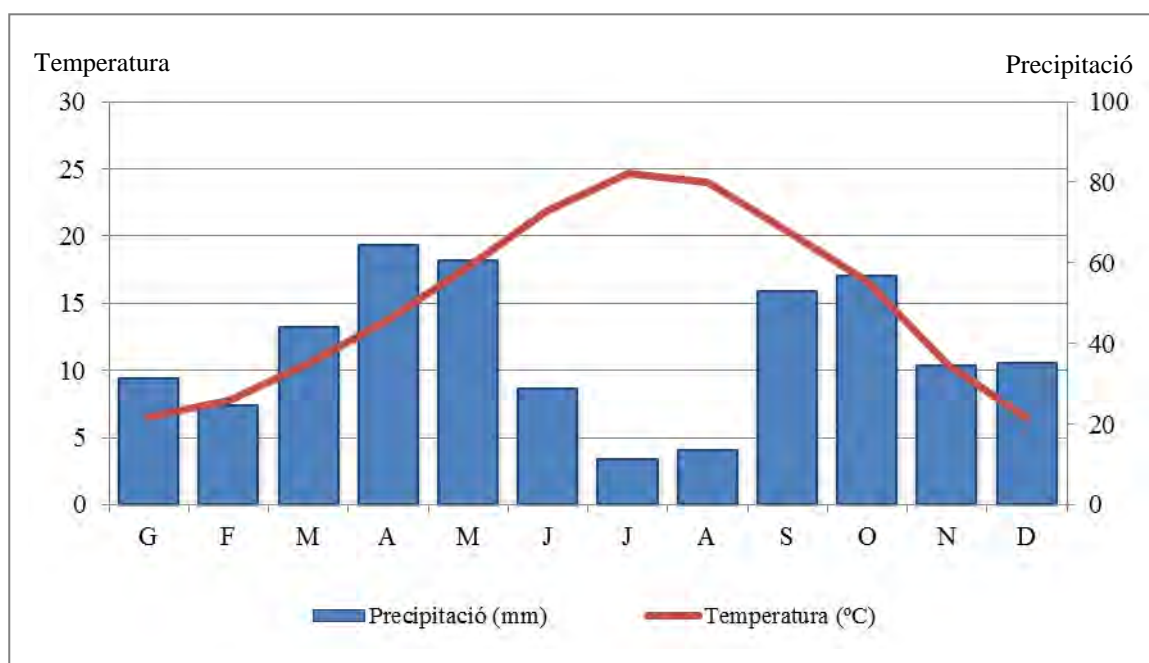


Figura 2.7. Evolució de la temperatura i de la precipitació a l'estació de Torroja del Priorat per al període 2004-2011 a l'EMA de Torroja del Priorat. Font: elaboració pròpia en base a dades del METEOCAT.

L'evapotranspiració és acusada en els mesos de juny, juliol i agost quan s'enregistra el dèficit hídric màxim, amb una mitjana anual d'evapotranspiració potencial de 760 mm i d'evapotranspiració real de 490 mm (Nadal, 1993), a causa de les temperatures elevades i de l'absència, gairebé absoluta, de les precipitacions.

El període de possibles glaçades s'inicia a finals d'octubre i el risc es prolonga fins a finals d'abril. Donat l'efecte protector de les serralades, els vents minven d'intensitat en arribar al Priorat, però cal remarcar l'efecte que tenen en cada municipi els vents locals. Així, a Porrera i a Falset, la garbinada hi és present amb més que a Gratallops i Torroja, i causa un efecte de temperament, suavitzant les temperatures a l'estiu, augmentant la humitat relativa i disminuint l'evapotranspiració. En localitats més interiors (Vilelles, Lloar i Bellmunt) les temperatures són més elevades a l'estiu. La regió també té la influència del serè que és un vent fred i sec que bufa del nord-est.

Les diferències en la topografia de la regió determinen l'existència de mesoclimas, condicionats per la distància al mar, l'altitud, l'orientació i la latitud, que donen lloc a modificacions locals o canvis que poden afectar extensions més o menys amples. Això comporta que en la regió, i d'una localitat a l'altra, es constatin diferències notables de temperatura, precipitacions, insolació i amplitud tèrmica. Tanmateix, dins d'una mateixa parcel·la, les característiques climàtiques vénen definides pel microclima, que es defineix en una superfície de 10 m a 110 m, i que és important a la regió del Priorat on l'orografia dins una mateixa parcel·la és molt canviant i determina l'evolució dels cultius.

La classificació de Winkler i Amerine dóna una mesura directa de la influència del clima sobre el cultiu de la vinya. Aquesta determina l'acumulació de temperatures diàries que s'inverteixen en el creixement i la maduració del cep durant el cicle i es caracteritza per un determinat rang de graus/dia (la suma dels valors de temperatura que excedeixen els 10°C des del mes d'abril fins finals de setembre). Porrera, la Morera del Montsant i Falset pertanyen en la Regió II (de 1.371,8 a 1.649,6 graus/dia), i les Vilelles, Gratallops, Bellmunt i el Molar s'inclourien en la Regió III (de 1.649,6 a 1.926,8 graus/dia).

2.3. GEOLOGIA I GEOMORFOLOGIA

La regió comprèn la Serralada del Montsant que la limita pel nord. La DOQ pertany a la conca del riu Siurana, que la travessa de NE a SO i que recull les aigües del riu Montsant i el Cortiella. Aquests són rius poc cabalosos i, com es correspon amb el tipus climàtic de la regió, de règim marcadament estacional amb fortes avingudes.

La zona es pot qualificar de muntanyosa pel seu relleu accidentat, dominat per les fortes ondulacions i els pendents dels turons paleozoics, i on són absents les planes de certa entitat (Margalef i Tasia, 1985). El rang altitudinal de la DOQ Priorat està comprès entre els 80 i els 1.140 m, amb un rang mitjà de 470 m d'altitud. El pendent presenta un valor mitjà del 30%. Aquest factor determina que molts autors caracteritzin l'orografia de la regió com a accidentada i en limita el desenvolupament.

Als vessants de les muntanyes i arreu del territori és característica la presència d'antics bancals irregulars de pedra seca i en mal estat de conservació, els quals van ser construïts amb l'objectiu de fer front al pendent i són indicadors de la presència d'antics cultius. Actualment, però, molts d'aquests vessants han substituït els bancals de pedra seca per nous sistemes d'aterrassaments realitzats amb maquinària pesada i amb talussos de longituds superiors als 2-3 m d'alçada.

La DOQ Priorat està formada per un sòcol paleozoic del carbonífer (*Figura 2.8*). El contacte del massís del Priorat amb la resta del territori s'estableix a partir d'una sèrie de falles. L'erosió afavorida per determinats moviments de basculament, ha arrasat amb la coberta de sediments calcaris, conglomerats calcaris, que sols apareix en els punts més elevats o que formen part d'estructures més complexes, deixant a l'exterior les pissarres del carbonífer. Aquest material és anomenat localment *llicorell* o *llicorella*. Els esquists del carbonífer, més o menys metamorfosats, alternen amb gresos, lidites, conglomerats i quarsites, materials essencialment silícics, sense excloure la presència de ciments calcaris (Margalef i Tasia, 1985). Aquesta descripció es correspon amb el substrat geològic genèric que presenta el municipi de Porrera.

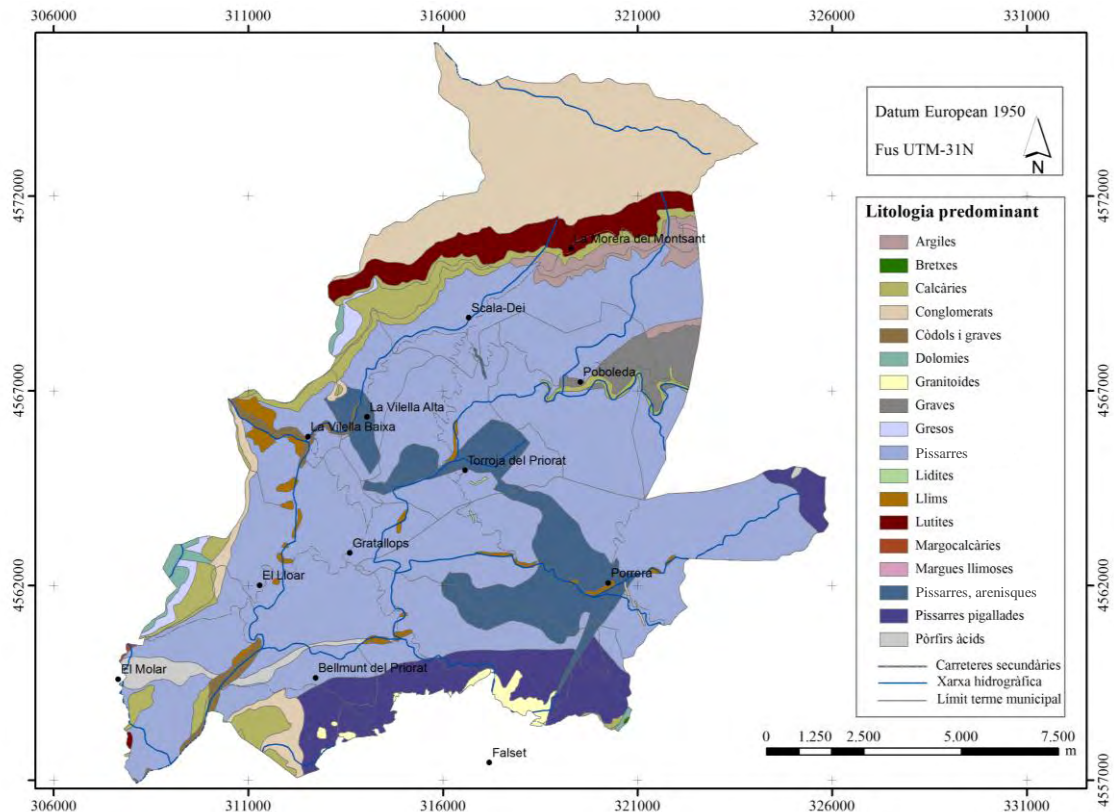


Figura 2.8. Classes geològiques segons litologia predominant de la DOQ Priorat. Font: mapa adaptat de la cartografia geològica 1:25.000 del Departament de Medi Ambient. Font: Mapa geològic procedent del DME i elaborat pel DMA i IGME.

Les roques de pissarres confereixen un color fosc al terreny, especialment viu i metàl·lic després dels episodis de pluja (Pascual, 2002). Els agents erosius actuant sobre aquests materials han configurat un paisatge característic de turons, tossals de formes arrodonides, superfícies d'erosió on s'acumulen els materials sorrencs, etc.

2.4. SÒLS

El sòl és una de les principals característiques que diferencia la DOQ Priorat de la resta de territori. A la zona, els sòls estan desenvolupats sobre esquists i pissarres que li confereixen una elevada pedregositat (70-90% en la majoria dels casos i molt variable en funció de la localització) (*Figura 13*). Tant els elements grossos, la roca mare, com el sòl s'anomena localment *llicorella* o *llicorell*.

Són sòls poc fèrtils, amb baix contingut en matèria orgànica i amb una capacitat d'intercanvi catiònic baixa (Nadal, 2002). Aquests sòls presenten un pH lleugerament àcid, són no calcaris, i poden presentar un paviment de graves en superfície (Pla et al., 2004). Les fraccions fines dels sòls, principalment argiles esmectites, augmenten en profunditat dins del perfil, el qual és freqüentment inferior a 50-60 cm, amb una superfície que presenta una elevada quantitat de fragments grossos amb un elevat grau de meteorització (Pla et al., 2004). L'elevada pedregositat confereix un elevat drenatge al terreny (Nadal, 2002) i els sòls es caracteritzen per presentar una infiltració molt elevada i una baixa capacitat de retenció d'aigua (CRAD) (Pla et al., 2004). Les classes texturals presents són francoargilosa i francosorrenca (Nadal, 2002).

Els elements grossos, coneguts com a *llicorella*, tenen el seu origen en el caràcter metamòrfic que facilita el trencament dels esquists i pissarres en direcció de les capes d'estratificació, donant lloc a formes aplanades que recobreixen la superfície del sòl. El tipus de pissarres més abundants en la superfície del sòl són fragments de costats més o menys angulosos, pedres i graves aplanades de diferent grandària. Aquestes pissarres aplanades contribueixen a disminuir la magnitud dels fenòmens d'erosió que es provocarien per la inclinació dels costers.



Figura 2.9. Detall de la superfície dels sòls de vinya; en una plantació de noves terrasses (esquerra) i en cultiu tradicional (dreta).

Els sòls són joves, poc madurs, i amb pocs horitzons i són classificats com a regosòl epilèptic (èutric, esquelètic) (FAO-ISSC-ISRIC, 1999) i els perfils característics de la regió (*Figura 2.10*) es classifiquen com a Xerorthents Lític (SSS, 1998) (Ubalde, 2010; Boixadera et al., 2011). Són perfils desenvolupats sobre esquists, que en algunes àrees estan desplaçats per venes de granodiorites (Ubalde, 2010). Són sòls poc profunds (< als 50 cm). Presenten un primer horitzó A, de molt poc gruix (profunditat màxima entorn als 20 cm en els perfils analitzats) i un R. Les pissarres estan bastant fracturades i permeten el pas d'algunes arrels. El dinamisme del sòl implica un procés de disgregació contínu de les pissarres que compensa l'erosió física.



Figura 2.10. Detall dels perfils del sòl analitzats a la finca Les Foreses en el terme municipal de Porrera.

L'anàlisi micromorfològica dut a terme per Ubalde, 2010 i Ubalde i Poch, 2010, posa de manifest que els sòls del Priorat desenvolupats sobre esquistos presenten acumulacions d'argila: revestiments i farcits de porus. L'origen de l'argila és probablement il·luvial i gran part s'ha neofomat a partir de pissarres i es mou a poca distància (Ubalde, 2010, Ubalde i Poch, 2010). Un altre edafotret característic és la presència de taques d'oxireducció de ferro i manganés (Ubalde, 2010).

Cal destacar que s'ha observat la presència de material argilós intercalat entre el material original i que pot arribar a suposar fins el 15% del total del volum de les pissarres. Aquestes argiles presenten una elevada capacitat de retenció d'aigua i suposen una important reserva d'aigua per als cultius, gràcies al sistema radicular, que s'estén en profunditat entre les fractures i els estrats de la pissarra (Ubalde, 2010).

En superfície, les pedres de llicorell fan de teulada enfront de l'evaporació d'aigua (Nadal, 2002).

2.5. VEGETACIÓ

El paisatge és un mosaic de conreus, espais erms, brolles amb pins o sense, en diferents estats d'evolució, i retalls de boscs d'alzines i de carrasques als indrets més inaccessibles o pendents. La vinya constitueix un element paisatgístic significatiu amb plantacions tradicionals en bancals de pedra seca i els nous aterraments amb talussos de pendent excessiva. Tanmateix els conreus de fruits secs han estat molt importants i en destaca l'avellaner, el que ocupa una major superfície; l'ametller (d'interès per la seva resistència, limitades necessitats i subvencions) i l'olivera que ocupa extensions reduïdes.

La vegetació natural dominant és principalment mediterrània i es caracteritza per l'alzinar i sobretot la garriga i els pasturatges, resultat de la desforestació continuada. La vegetació dominant forma part de la unitat classificada com a país de l'alzinar muntanyenc; amb pinedes de pi roig/pi blanc, brolles d'estepes i alzinars (Folch, 1986).

Les formacions arbustives són les que ocupen extensions més àmplies: les garrigues (matollar molt dens i atapeït, punxós i que fa força ombra, on predomina el garric o coscoll) i les brolles (conjunt de matollars formats per arbustos generalment esclarissats i baixos 0,5 a 1 m), d'estepes al territori pissarrós (*Ciston*).

Les garrigues s'estenen sobre sòls pedregosos secs amb poca terra. Aquesta és una comunitat secundària que procedeix de la degradació de l'alzinar litoral o del carrascar, i és una formació arbustiva baixa que rarament ateny un metre d'alçària. Es tracta d'una comunitat gairebé monoespecífica i, si més no, absolutament dominada pel garric o coscoll (*Quercetum coccifera*), mata rabassuda semblant a una petita alzina, de fulles menudes, glabres i punxents. L'única planta que s'hi fa en abundància és el llistó (*Brachypodium retusum*) i els pot acompanyar la lleteresa vera (*Euphorbia characias*) i el matapoll (*Daphne gnidium*). Sovint es troben cobertes de pi blanc (*Pinus halepensis*) i en certes àrees també s'hi troba el pi pinyer (*Pinus pinea*). Per altra banda, al territori pissarrós, especialment entre 200 i 600 m, hi prospera la brolla d'estepes i bruc (*Cistio-Sarothamnetum catalaunici subass. rosmarinetosum*), amb estepes (*Cistus monspeliensis*, *C. albidus*, *C. salviifolius*), brucs (*Erica arborea*), cap d'ase (*Lavandula stoechas*), botja d'escombres (*Dorycnium pentaphyllum*), botja groga (*Bupleurum fruticosum*) i romaní (*Rosmarinus officinalis*).

En els indrets més degradats per l'activitat humana (bàsicament conreus abandonats) encara vesteixen comunitats més pobres que les brolles: els prats secs (*Thero-brachypodietalia*), i són comunitats principalment herbàcies caracteritzades pel llistó (*Brachypodium retusum*) o fenàs. En aquestes zones creix el llistonar amb trèvols (*Trifolio-Brachypodietum retusi*) i les espècies més comunes en són *Trifolium stellatum*, *T. Arvense*, *T. Angustifolium* i *T. Hitum*. En els marges de camps i camins, allí on s'aguanta millor la humitat edàfica, hi creix un tipus de prat sec més verd i esponerós i de tendència subhúmida: el fenassar típic (*Brachypodietum phoenicoidis*), i no manca en els talussos subhúmids, herbassar amb un recobriment elevat i d'uns 30-50 cm d'alt, típic dels talussos i marges dels conreus (Folch, 1984). Els prats secs, encara que puguin semblar la casta més baixa de la vegetació natural, estan catalogats com a hàbitats naturals d'interès comunitari d'atenció prioritària; de fet, representen la darrera protecció del terreny enfront de l'erosió (Pascual, 2002).

Les comunitats de reconstrucció ens indiquen que la vegetació climàtica d'aquesta zona són els alzinars (*Quercion ilicis*). Els conreus, activitats forestals i incendis han fet recular l'alzinar fins a zones més inaccessibles. Hi arriba a créixer l'alzinar litoral (típic), amb alzina de fulla llarga (*Quercus ilex ssp ilex*), marfull (*Viburnum tinus*), galzeran (*Ruscus aculeatus*), heura (*Hedera helix*), etc. Aquest bosc va fent-se estrany cap a Ponent fins a quedar substituït completament pel carrascar (bosc de carrasca, mena d'alzina de fulla petita, arrodonida i de color grisós) o alzinar continental, els quals estan adaptats als climes mediterranis secs i continentals, on les pluges són escasses i les temperatures extremes: són alzinars pobres amb estrats arbustius i herbàcies de poca entitat (Pascual, 2002).

La vegetació arvense, és a dir, l'associada amb els cultius, té una importància notable, i ocupen considerables extensions les comunitats de ravenissa i lleterassa de camp (*Diplotaxietum eruroidis*), integrades sobretot per herbes anuals com la ravenissa blanca o raveníssima (*Diplotaxis eruroides*), que arriba a tapissar extenses àrees de vinya, ametller i olivera de blanc,

la ravenissa groga o sardaboll (*Erucastrum nasturtiifolium*), el boixac de camp (*Calendula arvensis*) i la lleterassa de camp (*Euphorbia segetalis*). Les comunitats de ravenissa són molt heterogènies i en terrenys pissarrosos és notable la presència de la perenne picotis (*Ptychotis saxifraga*).

2.6. CARACTERÍSTIQUES SOCIOECONÒMIQUES

L'agricultura ha estat l'activitat productiva bàsica de la regió (Margalef i Tasia, 1985) i al mateix temps n'ha condicionat el desenvolupament. Tot i la importància d'aquest sector, la productivitat i el desenvolupament agrari han estat fortament condicionats i limitats per les dificultats del medi físic i la climatologia.

Els cultius llenyosos de secà han estat els principals conreus al Priorat i tot i la importància en determinats moments històrics de l'avellaner, l'ametller i l'olivera, el desenvolupament de la regió s'ha lligat estretament al cultiu de la vinya. La viticultura, doncs, ha marcat la dinàmica evolutiva de la regió i ha donat lloc a diferents escenaris històrics en l'activitat socioeconòmica, que han portat a desencadenar diversos processos de canvis d'usos i cobertes del sòl.

En el següent gràfic es mostra l'evolució de l'extensió del cultiu de la vinya i altres cultius agrícoles al llarg de la història (Figura 2.11)

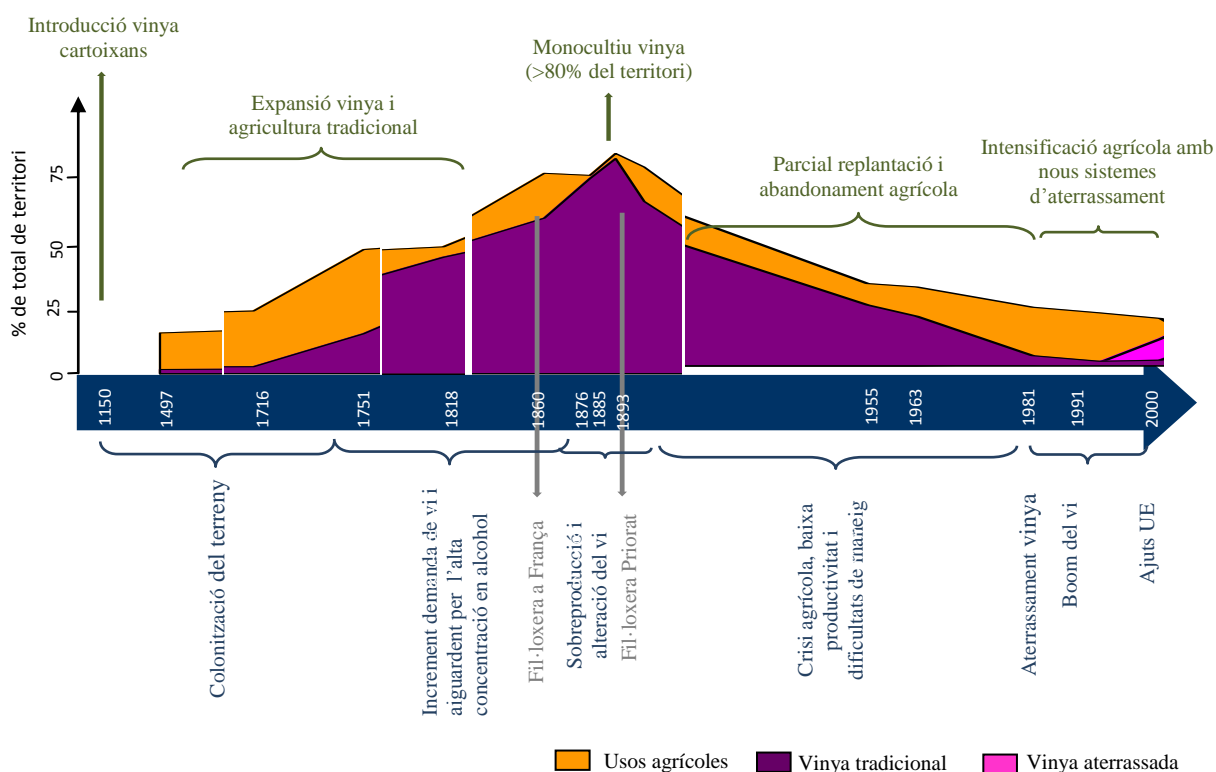


Figura 2.11. Evolució històrica dels usos del sòl a Porrera i Priorat (1150-2005). Font: elaboració pròpia.

2.6.1. Evolució agrícola del s. XII als s. XVIII

Les primeres notícies de l'existència de vinyes a la zona daten del s. XII (Figueres i Calvó, 2003).

Al llarg dels s. XIII i XIV tingué lloc una lleugera i progressiva extensió dels camps de conreu i de les vinyes. Fins aquest moment, l'estructura agrària descansava en una triple especialització: cereals, vinya i fruits secs (avellaners, ametllers i olivera), essent el darrer el conreu per excel·lència i el vi com a consum propi (Andreu, 1989).

A partir de la segona meitat del s. XVIII, la demanda internacional de vins i aiguardents comportà una especialització vitivinícola, que incidí en l'estructura productiva i transformà la base econòmica i agrícola del Priorat.

2.6.2. Expansió agrícola al llarg del s. XIX

A principi del segle XIX la vinya era el primer conreu de Catalunya, i al Priorat es continuaven augmentant les extensions, que suposaren rompudes de terres i extensions dels conreus en detriment del bosc i les terres ermes, amb la qual cosa es va passar d'una estructura de conreus diversificada (González, 1988), a una economia específica basada en la vinya.

L'any 1868 apareix la fil·loxera a França, que s'estén ràpidament i malbarata totes les vinyes franceses. Catalunya, amb les vinyes intactes és l'encarregada d'abastar el mercat francès, i comença una revitalització del sector i època d'esplendor socioeconòmica. Fou el moment de l'anomenada febre d'or de la viticultura catalana i al Priorat coincidí amb el major índex de població en el conjunt de la comarca. L'any 1887 la població de Porrera assolí 1.873 habitants (*Taula 2.3*), valors que pràcticament quadrupliquen la població actual (468 habitants el 2011, IDESCAT).

Taula 2.3. Evolució demogràfica de la població de Porrera fins a finals del s. XIX.

<i>Porrera</i>	<i>1716</i>	<i>1719</i>	<i>1787</i>	<i>1830</i>	<i>1842</i>	<i>1857</i>	<i>1860</i>	<i>1877</i>	<i>1887</i>	<i>1897</i>
<i>Població</i>	358	383	1.255	1.084	1.321	1.799	1.710	1.701	1.873	1.371

Font: Andreu (1989) i Iglésies (1975).

A Torroja l'any 1752 la vinya ocupava un 47,7% de la superfície cultivada i un 31,5% era ocupat per ametllers; mentre que en el cens de 1881, la vinya ocupava un 93,51% de la superfície cultivada i no s'hi troba referència de l'ocupació dels ametllers, que havien passat a ser un conreu marginal (Andreu, 1989).

L'any 1884/1900 la vinya als pobles de Poboleda i Porrera ocupava el 93% dels cultius. La terra agrícola en aquests municipis s'aprofitava entre un 79 i un 78%. L'any 1894 la vinya a Porrera ocupava pràcticament el 74% del territori (*Taula 2.4*).

Taula 2.4. Evolució de la superfície de vinya sobre el total de cultius i el territori (1876-1900)

	% vinya sobre els cultius		% vinya sobre el total del territori	
	1876 ¹	1884/1900 ^{1 i 2}	1876 ¹	1884/1900 ^{1 i 2}
Bellmunt	95,0	90,3	59,5	77,3
Gratallops	72,7	89,7	54,0	66,6
Poboleda	82,0	93,1	70,9	80,5
Porrera	84,8	93,6	71,7	73,6
Torroja	96,2	90,6	76,2	76,2
Vilella Alta	88,6	88,3	61,3	61,2
Vilella Baixa	78,3	85,8	51,6	71,4

Font: dades obtingudes a partir d'Heras (1994)¹ i Iglésies (1975)²

Les vinyes van arribar a ocupar els punts més elevats de la muntanya, on avui encara es poden observar antigues terrasses de pedra seca, testimonis d'aquesta expansió.

Una mostra d'aquesta configuració paisatgística es pot observar i comparar en la *Figura 2.12*.



Figura 2.12. Imatge Superior: Porrera (aproximadament 1900), paisatge configurat bàsicament per plantacions de vinyes tradicionals (Font: Grau, 1999). Imatge inferior: Porrera (2003). Paisatge configurat per zones boscoses matolls, aterrossaments de vinya i alguna plantació de vinya tradicional.

L'especialització de la vinya va posar el Priorat sota la dependència crònica de la demanda internacional d'un únic producte, tot destruint l'estructura econòmica dels segles XVI i XVII, basada en el conreu de cereals, vinya i fruits secs (ametllers i avellaners), i en la producció de draps de llana. L'economia més diversificada era més persistent davant d'una crisi d'un dels sectors econòmics.

El 1887 començà una profunda crisi del sector vitivinícola, que s'agreujà posteriorment amb l'aparició de la fil·loxera (que aparegué per primer cop a la comarca al municipi de Porrera el 1893) (Figueras i Calvó, 2003), i que es prolongà fins a finals del segle XX. La crisi s'inicià amb una forta davallada dels preus provocada per una dràstica reducció de les exportacions, principalment franceses, deguda a les restriccions per adulteració dels vins del Priorat i l'entrada en producció de les vinyes franceses amb nous peus americans.

La plaga de la fil·loxera (insecte procedent d'Amèrica que ataca les arrels de la planta i en xucla la saba) causà la mort de totes les vinyes. La solució a la plaga fou la introducció dels peus americans *Vitis rupestris* però calia replantar de nou totes les vinyes mortes. A més, les característiques dels terrenys prioratins van dificultar la possibilitat de conversió de la vinya a altres cultius, tal i com va succeir en d'altres zones afectades per la plaga. La replantació va ser cara, lenta i dificultosa. Es començà per les finques més productives, properes als nuclis de població i fàcilment cultivables, que ocupaven llocs planers. Els costers més allunyats van ser plantats amb lentitud i les finques de difícil accés i fort pendent no van tornar a ser conreades. La superfície de vinya replantada va ser inferior a l'existent abans de la fil·loxera.

2.6.3. Abandonament agrícola s. XX

Durant el segle XX, hi hagué una notable pèrdua demogràfica (*Taula 2.5*), amb un successiu abandonament dels terrenys agrícoles i de la regió. Els cultius de la vinya van ser reemplaçats per altres de fruits secs com l'avellaner, l'ametller i l'olivera.

Tanmateix, al costat dels problemes en el sector vitivinícola generals a Catalunya, al Priorat calia sumar-hi la poca productivitat, l'escassa rendibilitat atesos els elevats costos de conreu o l'increment que, en el cost del producte, representava el transport, i que suposen un greuge comparatiu respecte altres zones vitivinícoles del país. En la *Taula 2.5* s'evidencia la forta regressió demogràfica que reduí la població en dues terceres parts en el municipi de Porrera, causada per l'emigració a altres zones més productives.

Taula 2.5. Evolució demogràfica de la població de Porrera al llarg del segle S.XX i fins l'actualitat.

Porrera	1900	1910	1920	1930	1940	1950	1960	1970	1981	1991	2001	2005	2011
Habitants	1.203	1.058	968	908	780	732	714	670	496	437	462	498	468

Font: Margalef i Tasia (1985).

A finals dels anys 1950 i principis del 1960 té lloc una major diversificació de la producció, i la major part de la vinya de la zona és reconvertida a cultius de fruits secs, principalment l'avellaner i l'olivera i l'ametller en posicions marginals. Aquests, i en particular l'avellaner, van adquirir importància en els anys 70 i 80 (*Taula 2.6*).

L'estructura tradicional agrària s'ha configurat al llarg de la història per explotacions de caire familiar i de mida reduïda, amb més de la meitat inferiors a 5 ha, i en règim de propietat (Margalef i Tàsias, 1985). Aquestes tenen produccions molt limitades i una major dificultat de maneig, en comparació amb altres àrees del territori català amb una major rendibilitat per hectàrea (Margalef i Tàsias, 1985). Aquestes característiques van propiciar el progressiu abandonament agrícola. L'evolució de la població i les dades estadístiques d'usos del sòl fan palesa la crisi: en la dècada de 1960 la població de Porrera va perdre més d'un 30% de la població i el 1980 va arribar a tan sols 500 habitants (*Taula 2.5*). La mateixa tendència s'observà en totes les poblacions que conformen la DOQ Priorat i fins i tot fou més accentuada en d'altres municipis.

El cens comarcal del Priorat del 1981 enregistra 10.432 habitants. La comarca era caracteritzada com aïllada, poc poblada, amb població envellida i subjecta a una forta emigració, que situava la regió com una de les àrees més deprimides i en regressió de Catalunya (Margalef i Tàsias, 1985).

Taula 2.6. Superfícies agràries (ha) disponibles per al període 1975-2003 (ha).

PORRERA	Bosc		Matoll		Vinya		Avellaner		Altres cultius		Improductiu		No agrícola	
	M	I	M	I	M	I	M	I	M	I	M	I	M	I
1975	1.041		17		1.026		602		84		10		74	
1982	889		17		1.050	149	707	629	117	35	10		74	
1985	889		17		1.016		739		109		10		74	
1989	889		78		935	108	755	626	113	86	16		74	
1995	889		912		400		461		134		10		74	
1999	889		1.010		311	206	461	347	109	80	6		94	
2001	889		1.120		311		361		99		6		94	
2002	889		1.152		290		311		138		6		94	
2003	1927		258		322		157		72		41		84	
2009						386		177			16			

Font: M són les estadístiques facilitades pel Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (MAPA) i per l'Institut d'Estadística de Catalunya (IDESCAT). Les dades del 2003 han estat extretes del Cadastre de rústica del terme municipal de Porrera.

2.6.4. El boom vitivinícola: els anys 1990 i 2000

Després dels anys de regressió econòmica, amb una llarga i profunda crisi que suposà l'abandonament de la majoria dels camps de cultius, una sèrie de successos a partir dels anys 90 generaren un boom del mercat de qualitat del vi de la regió vitivinícola Priorat, que ha modificat novament, l'estructura agrícola i socioeconòmica de la comarca.

Els impulsors del canvi van ser un grup reduït de productors, nous a la regió, que van introduir noves tècniques de vinificació i comercialització. Aquestes innovacions van permetre situar els vins del Priorat en posicions molt elevades dins del mercat internacional per la seva qualitat i característiques diferencials. Un d'aquests moments històrics va tenir lloc el 1999, quan a la sala Christie's de Nova York es van pagar 68.000 pessetes per una ampolla Magnum de l'Ermita, d'Alvaro Palacios.

La qualitat diferencial assolida pels vins de la comarca va propiciar que l'any 2000 el Govern de Catalunya reconegués el Consell Regulador del Priorat com a Denominació d'Origen

Qualificada (Ordre 29/12/2000), sota el marc del Reglament (CE) 1493/1999 pel qual s'estableix l'organització comuna del mercat vitivinícola.

Aquest ressò internacional del vi de la DOQ Priorat va despertar l'interès d'una gran quantitat de viticultors i empresaris de la zona i d'arreu del món, els quals han estat apostant i invertint fortament en la zona comprant noves terres per crear noves plantacions o recuperar-ne d'altres d'abandonades.

En conseqüència, ha tingut lloc un accelerat i extensiu procés de transformació dels usos i cobertes del sòl, amb la introducció de nous sistemes de plantacions de vinya, basats en aterraments dels vessants en regressió dels cultius tradicionals i àrees naturals. Aquests busquen fer front als elevats pendents de la zona amb l'objectiu de mecanitzar i millorar el rendiment de les explotacions, i impliquen la construcció de sistemes d'aterraments d'aproximadament 2-10 m d'amplada i talussos sovint de més de 3 m. En la majoria dels casos els talussos no tenen cap tipus de protecció, excepte el creixement de la vegetació natural. La construcció de les terrasses té lloc mitjançant bulldòzers i maquinària pesada i comporta la completa alteració del sòl i roca mare i un impacte sobre el paisatge de la regió.

Aquesta nova situació ha suposat també un canvi en l'estructura productiva de la regió amb la quasi completa desaparició del sistema cooperatiu per centrar tota la producció en empreses de mida i objectius molt diversos de caire privat. En els darrers 10 anys la producció de raïm s'ha duplicat (*Taula 2.7*). El 2010 la DOQ Priorat tenia inscrites 1.887,68 ha de vinya i comptava amb un total de 608 productors i 96 cellers.

Taula 2.7. Evolució de la producció de raïm a la DOQ Priorat 1998-2011.

	<i>Producció de raïm (tn)</i>	<i>Nre. de viticultors</i>	<i>Nre. de cellers</i>	<i>Superfície de vinya (ha)</i>
<i>1998</i>	1.917	382	24	
<i>1999</i>	1.873	330	25	
<i>2000</i>	2.417	341	30	879
<i>2001</i>	2.501	498	36	1.230
<i>2002</i>	2.834	517	38	1.431
<i>2003</i>	3.155	546	47	1.591
<i>2004</i>	4.362	585	54	1.650
<i>2005</i>	3.647	558	66	1.680
<i>2006</i>	4.368	558	73	1.722
<i>2007</i>	4.670	560	83	1.741
<i>2008</i>	4.796	564	86	1.767
<i>2009</i>	4.968	608	90	1.874
<i>2010</i>	4.866	616	92	1.887
<i>2011</i>	5.146	637	96	

Font: DOQ Priorat

La zona ha recuperat part de la vitalitat social: s'ha transformat una comarca deprimida en una zona amb oportunitats socioeconòmiques i que atreu joves viticultors.

2.7. REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES

- Andreu J., 1989. Creixement demogràfic i transformacions econòmiques al Priorat (segles XVI-XIX). Penell, 3, Reus.
- Boixadera, J., Herrero, C., Carrillo, G., Puiguriquer, M., Ubalde, J.M., 2011. Suelo típico del Priorat. A 28ª Reunión de la Sociedad Española de Ciencia del Suelo. Poster. Disponible on line a: <http://www.creaf.uab.es/secs2011>.
- FAO/ISSS/ISRIC, 1999. Base referencial mundial del recurso suelo. Informe nº 84. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma.
- Folch R., 1986. La Vegetació dels Països Catalans. Ketres, 2ª Edició, Barcelona. ISBN 84-85256-62-X.
- Figueres A., Calvo J., 2003. El Priorat, la vinya i el vi. Carrutxa i Centre de Promoció de la Cultura Popular i Tradicional Catalana. Departament de Cultura. Generalitat de Catalunya). 15 pp.
- González A., 1988. Les transformacions rurals al Priorat. Algunes notes. Treballs de la Societat Catalana de Geografia. Institut d'Estudis Catalans. Barcelona. 15, pp 57-69. Barcelona.
- Heras P.A., Mas C., 1994. Viticultura i fil·loxera a l'últim terç del segle XIX: el cas de les comarques de Tarragona. Biblioteca Tarraconsense, 11.
- IDESCAT, 2011. Institut d'Estadística de Catalunya. <http://www.idescat.cat/>
- Iglésies J., 1975. Les minves dels cultius i de la població a la comarca del Priorat. Fundació Vives Casajuana, Barcelona.
- Margalef J., Tasia J., 1985. El Priorat. Anàlisi d'una crisi productiva. Caixa d'Estalvis de Catalunya, Barcelona. ISBN: 84-505-2907-7.
- METEOCAT. Servei Meteorològic de Catalunya. <http://www.meteo.cat/servmet/index.html>.
- Nadal Roquet-Jalmar, M., 1993. Estudi dels factors ecològics i de les condicions de maduració del Cabernet Sauvignon per obtenir vins de qualitat en el Priorat, tesi doctoral. Universitat de Barcelona, Barcelona.
- Nadal M., 2002. Els vins del Priorat. Cossetània Edicions. Valls. Catalunya (Espanya). ISBN: 84-95684-96-9.
- Pascual R., 2002. Montsant Patrimoni Natural i Paisatge. Carrutxa. Tarragona (Espanya). ISBN: 84-87580-17-3.
- Pla I., Ramos M.C., Nacci S., Fonseca F., Abreu X., 2004. Soil and water conservation as affected by changing Mediterranean climate and land management in vineyards of Catalonia (NE Spain). In: Kertész, A., Kovács, A., Csuták, M., Jakab, G., Madarász, B. (Eds.), Proceedings of the 4th International Congress of the ESSC. Hungarian Academy of Sciences, Geographical Research Institute, Budapest, pp. 86-91.
- SSS, 1998. Soil Survey Staff. Keys to Soil Taxonomy. 8th Edition. US Department of Agriculture Natural Resource Conservation Service, Washington DC. 326pp.
- Ubalde, J.M., 2010. Quantifying the effects of soil and climate on grape and wine quality: application in a viticultural zoning based on very detailed soil surveys. Tesi doctoral, Universitat de Lleida, Lleida (Espanya).

Ubalde, J.M., Poch, R., 2010. How soil forming processes determine viticultural zoning in Catalonia, Spain. Proceedings of 19 World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World. International Union of Soil Sciences, Brisbane (Austràlia).

3. CARTOGRAFIA DELS USOS I

**COBERTES DEL SÒL A PARTIR DE DADES
HISTÒRIQUES DE TELEDETECCIÓ I
ANÀLISI DE LA SEVA DINÀMICA
ESPACIOTEMPORAL**

Capítol 3

CARTOGRAFIA DELS USOS I COBERTES DEL SÒL A PARTIR DE DADES HISTÒRIQUES DE TELEDETECCIÓ I ANÀLISI DE LA SEVA DINÀMICA ESPACIOTEMPORAL

RESUM

El paisatge rural mediterrani ha experimentat canvis importants al llarg dels darrers 50 anys. Un exemple es troba a la regió del Priorat, que des de mitjans del segle passat ha sofert un important abandonament de cultius tradicionals i un posterior procés d'intensificació agrícola a partir dels anys 90, gràcies a la revalorització econòmica dels seus vins. El capítol presenta l'elaboració d'una cartografia detallada per al període 1956-2005 capaç de quantificar aquests canvis. L'estudi contempla un procés d'ortorectificació i fotointerpretació de fotografies aèries històriques i una anàlisi dels canvis dels usos del sòl multitemporal, que permet establir amb precisió els canvis en cada punt del territori. També es presenta un mètode de classificació automatitzada d'usos del sòl a partir de fotografies pancromàtiques amb la utilització de mesuraments texturals i xarxes neuronals, que posa de manifest el potencial de la metodologia per obtenir cartografia detallada i els avantatges enfront dels mètodes tradicionals. L'anàlisi dels usos mostra el gran dinamisme de l'activitat agrícola que des del 1956 al 2005 ha transformat un 76% del territori. Del 1956 al 1998 s'abandonen el 66% dels cultius tradicionals, mentre que del 1998 al 2005 hi ha una lleugera recuperació de les zones cultivades donada la intensificació agrícola de vinyes mecanitzades, que s'incrementa en un 217%, i passen a ser el cultiu majoritari. El 70% de les noves vinyes procedeixen d'usos forestals, cosa que explica que la intensificació agrícola no eviti l'abandonament de cultius tradicionals. En el darrer període es recupera part del cultiu de vinya tradicional. Aquests resultats evidencien que al Priorat, l'abandonament i la intensificació han estat estretament lligats a factors econòmics.

Paraules Clau: ortorectificació, fotointerpretació, xarxes neuronals, canvis d'usos i cobertes del sòl, abandonament, intensificació agrícola, vinya mecanitzada, Priorat.

Inclou l'article:

- Cots-Folch, R., Aitkenhead, M. J., Martínez-Casasnovas, J.A. 2007. Mapping land cover from detailed aerial photography data using textural and neural network analysis. *International Journal of Remote Sensing*, 28 (7), 1625–1642.

3.1. INTRODUCCIÓ

3.1.1. Processos de canvi a la regió Mediterrània: abandonament i intensificació agrícola

En els darrers anys la regió mediterrània ha viscut processos importants de canvi d'usos i cobertes del sòl, conduïts per l'activitat agrícola i que han comportat modificacions importants en el paisatge. Aquests processos han tingut lloc des dels anys 1950, moment en el qual l'agricultura extensiva va donar pas a una agricultura intensiva, i que va concentrar l'activitat agrícola en l'espai, tot causant un canvi en la demanda laboral rural, fet agreujat pel creixement del turisme (Thornes, 1996; Serra et al., 2008). Aquests canvis van desencadenar un abandonament de l'agricultura tradicional i una major intensificació de zones planes i mecanitzables, amb una major demanda d'inputs (aigua, fertilitzants, etc.) en regions concentrades (Douglas et al., 1994; Fjellstad i Dramstad, 1999; Serra, 2002; Borselli et al., 2006).

Associat a l'abandonament agrícola té lloc un despoblament i degradació de les regions rurals, amb una homogeneïtzació del paisatge i pèrdua de la biodiversitat. L'abandonament és considerat com una força precursora de la desertificació ja que comporta incendis forestals (Margaris et al., 1996).

Per la seva banda, la intensificació agrícola ha significat un dels majors processos de modificació, amb increments dramàtics en els darrers 40 anys, sovint causats per canvis en el sistema de maneig (Lambin et al., 2000). Aquesta ha estat definida com la substitució d'entrades de capital, labor i tècniques, per a l'obtenció d'una major producció en una àrea donada, amb una major freqüentació i major concentració de la producció (Brookfield, 1972), i es mesura en termes de producció per unitat d'àrea (Turner i Doolittle, 1978). Aquest procés ha estat la clau per a l'explicació d'un gran nombre de canvis i creixements agrícoles (Turner et al., 1977; Turner i Doolittle, 1978). A més, cal tenir en compte que la intensificació agrícola, més enllà de suposar un canvi d'ús, implica sovint un canvi en la coberta. Donat l'impacte, s'ha detectat un major interès per les investigacions dels processos que impliquen una modificació de la coberta, així com del seu impacte.

Estudis d'investigació, centrats en regions de tipus rural, han analitzat els processos històrics de canvis d'usos en base als processos d'abandonament (p. e. Douglas et al., 1994, López et al. 2001, Bielsa et al., 2005) mentre d'altres, localitzats en zones amb característiques territorials i socioeconòmiques distants, han centrat la recerca en els canvis desencadenats per la intensificació agrícola (p. e. Rabbinge i van Diepen, 2000, Serneels i Lambin, 2001, Jiménez-Delgado, 2003, Borselli et al., 2006). Però són pocs els territoris on s'han donat tots dos processos coincidint en l'espai i en el temps, fet que permet analitzar amb més detall les causes dels processos a escala local.

3.1.2. L'estudi dels canvis d'usos i cobertes del sòl

Les investigacions en el camp dels canvis d'usos i cobertes del sòl permeten caracteritzar i entendre els processos de canvi, així com les implicacions socials i ambientals en les diferents escales temporals i espacials d'anàlisi. Com en moltes d'altres regions del territori, tot i la importància de dades de tipus quantitatiu i qualitatiu amb la descripció d'*on*, *quan* i *com* els canvis tenen lloc, aquestes són incompletes o inexactes (Turner et al., 1993). En aquest sentit, els models d'anàlisi dels usos del sòl representen una aportació d'informació i permeten entendre les causes i conseqüències de les dinàmiques per tal d'avaluar els impactes i tendències

(Veldkamp i Verburg, 2004) de passades i futures activitats en el medi i/o les esferes socioeconòmiques: tant en l'aportació de dades de tipus qualitatiu, quantitatiu, ambientals com socioeconòmiques dels usos del sòl (Briassoulis, 2000). La modelització espacial, doncs, és una eina important per al planejament i les polítiques que els afavoreixen o els limiten (Veldkamp i Lambin, 2001).

Davant un estudi d'usos i cobertes del sòl és fonamental una caracterització prèvia dels processos. La terminologia *coberta del sòl* s'utilitza per descriure els atributs de la superfície i la subsuperfície immediata de la terra; biota, sòl, topografia, aigua superficial i subterrània i estructures humanes. Els *usos del sòl* es refereixen al propòsit pel qual els humans exploten la coberta del sòl (Turner et al., 1993). Així parlem de *canvis en la coberta del sòl* per determinar l'estat biofísic de la coberta terrestre, i *usos del sòl* per referir-nos a com es manipula i amb quina finalitat (Turner et al., 1995).

L'estudi dels canvis en els usos i cobertes del sòl (LUCC) està enfocat a respondre les qüestions següents (Lambin, 1997):

- Quina és la localització de les àrees afectades pel canvis - *¿on?*
- A quina taxa tenen lloc els canvis - *¿quan?*
- És la difusió dels canvis homogènia en totes les direccions de l'espai? Tenen lloc de manera progressiva en el temps? Existeixen seqüències espaciotemporals dels canvis? - *¿com?*
- Quines variables ambientals i culturals contribueixen a una major explicació dels canvis - *¿per què?*

3.1.3. La Teledetecció i els Sistemes d'Informació Geogràfica: eines d'estudi i anàlisi

La localització dels usos del sòl a partir de treball de camp comporta problemes d'interpretació i localització, elevat cost, subjectivitat i inviabilitat davant grans extensions de terreny. Amb l'aparició de les tècniques de teledetecció es millora la possibilitat d'obtenir informació de grans àrees d'estudi, tant a escala global com local, a una major resolució temporal i la disponibilitat de registres gràfics històrics.

Amb aquest objectiu, les tècniques de teledetecció conjuntament amb els sistemes d'informació geogràfica (SIG) són unes eines àmpliament utilitzades i reconegudes en l'estudi de canvis d'usos i cobertes del sòl en general (Luijten, 2003) i en un ampli ventall de situacions més concretes: processos de desforestació (Lambin, 1997), creixements urbans (López, et al., 2001), canvis en la vegetació (Korotkov et al., 2001), canvis de tipus agrícola (Serneels i Lambin, 2001; Jiménez-Delgado, 2004), processos d'abandonament (Douglas et al., 1994, 1996; Romero-Calcerrada, 2004) i intensificació (Douglas et al., 1994).

Aquestes tecnologies presenten un entorn adequat per emmagatzemar, analitzar, i presentar les dades digitals necessàries per a l'estudi de canvis d'usos, i permeten determinar-ne les tendències futures (Lambin 1997, Verburg et al. 1999, López et al. 2001, Schneider i Pontinus 2001, Li et al. 2004, De Almeida et al. 2005) i, en conseqüència, esdevenen una eina important per al planejament i les polítiques que afavoreixen i limiten els canvis (Veldkamp i Lambin, 2001). A més permet adquirir sèries temporals de dades de la superfície terrestre, interpretar-les i establir relacions: identificar i localitzar, caracteritzar i quantificar l'estructura dels usos del sòl en l'espai de temps analitzat i establir relacions amb els factors inductors dels processos.

Tanmateix, tot i l'avenç en l'aplicació d'aquestes metodologies, la majoria de treballs desenvolupats abasten grans superfícies del territori però en conseqüència presenten una resolució poc detallada, que limita la representació d'aquells fenòmens que tenen lloc a una escala detallada.

L'adquisició de la informació de base per al procés, així com la metodologia d'anàlisi, condicionen i validen la fidelitat de l'anàlisi posterior. Per a la cartografia d'usos i cobertes del sòl el primer que cal determinar és l'escala de treball i la resolució temàtica: l'especificació dels nivells temporals i espacials de detall és d'una importància crucial per a l'anàlisi dels canvis ja que a) determina la selecció del tipus d'usos i cobertes que seran analitzats b) determinarà els factors i processos de canvi que podran ser detectats i c) afecta la identificació i explicació de les relacions entre els usos i les cobertes dins una estructura espaciotemporal (Briassoulis, 2000).

D'entre les eines d'anàlisi, les imatges de satèl·lit són les utilitzades majoritàriament, i es troben en contínua expansió i creixement pels avantatges d'elevada periodicitat i el format digital i georeferenciat vers les fotografies aèries (Stuttard, 1992; Serra et al., 2002). Així mateix, la utilització de les fotografies aèries implica un elevat consum de temps en els processos de fotointerpretació i digitalització, i també en l'eliminació dels errors inherents en elles. Tanmateix, la manca de registres històrics més enllà de 1972 (llançament del primer satèl·lit d'observació de la Terra de la sèrie Landsat), l'accessibilitat de les dades, la baixa resolució espacial i el format d'imatge en limiten l'ús. Alternativament, la fotointerpretació de fotografies aèries segueix sent una eina molt utilitzada per a l'elaboració i monitoratge de mapes a escala detallada (Loveland et al. 2002) quan no es pot treballar amb imatges de satèl·lit, donada alguna de les restriccions especificades. La majoria dels registres antics (anterior a la dècada de 1990 i també més recents) es troben en blanc i negre (pancromàtic), i això representa un cost afegit ja que no existeixen tècniques eficients capaces de generar una classificació automàtica. En aquests casos, la generació de mapes es fa de forma manual, la qual cosa requereix d'una gran quantitat de temps i no està exempta de subjectivitat. Així mateix, la integració de diferents fonts d'adquisició en una mateixa seqüència espaciotemporal pot implicar una sobreestimació dels canvis causant errors d'interpretació (Petit i Lambin 2001).

En les regions muntanyoses de la Mediterrània (com el cas del Priorat) la configuració dels usos del sòl està caracteritzada per parcel·les de mida petita que alternen amb àrees forestals, la qual cosa requereix l'ús d'una cartografia detallada per a la representació fidedigna dels elements del paisatge (Bielsa et al., 2005). Així mateix, en el cas a estudi existeix la necessitat de diferenciació de determinats usos com són la vinya tradicional versus els nous sistemes d'aterrament o bé les àrees de cultius abandonades. Aquesta elevada resolució espacial i temàtica necessària implica abordar l'anàlisi a una escala detallada, i per tant la utilització de fotografies aèries tot i el major cost de treball. Així la classificació dels usos del sòl s'ha de realitzar mitjançant les tècniques tradicionals de fotointerpretació conjuntament amb el treball de camp.

3.1.4. La classificació de fotografies aèries mitjançant xarxes neuronals

Tot i els avenços en les tècniques de teledetecció i els sistemes d'informació geogràfica, el tractament i processament de fotografies aèries presenta limitacions. Moltes investigacions se centren a estudiar les tècniques de classificació automàtica d'imatges de satèl·lit multiespectral (Foody 1996) mentre que són molt pocs els treballs que utilitzen la classificació automàtica

d'imatges pancromàtiques. Alguns autors com Halounová (2003) i Fernández-Sarría et al. (2003) van aconseguir classificar els usos forestals versus els agrícoles a partir d'imatges pancromàtiques mitjançant una classificació textural, utilitzant tècniques estadístiques de classificació de píxels. Altres autors han utilitzat la característica de textura de les fotografies aèries combinada amb la informació espectral per elaborar mapes d'usos del sòl amb resultats positius (Berberoglu et al. 2000, Shah i Gandhi 2004, Tuominen i Pekkarinen 2005, Puissant et al. 2005). En les imatges amb elevada resolució, l'heterogeneïtat de l'espectre que pot tenir un mateix tipus d'ús del sòl representa un inconvenient per als mètodes de classificació espectral que obtenen informació píxel per píxel, i la combinació amb la textura permet obtenir millors resultats.

Aquests estudis demostren que quan no es troba disponible la informació espectral o les imatges tenen una elevada resolució, es pot recórrer a l'anàlisi espacial del veïnatge entre píxels. La variació entre la intensitat dels píxels veïns es pot analitzar a través del paràmetre textura. Aquest valor es pot obtenir per diversos mètodes. El més tradicional és el mètode estadístic, que es basa en el mesurament de les ocurrencies de cada valor dels nivells de l'escala de grisos en una matriu de píxels (Haralick et al., 1973). La utilització de valors de píxels per a la classificació segons les textures (Arivazhagan i Ganesan 2003) requereix d'un treball intens a nivell computacional i es basa en la comparació dels valors de textura coneguts amb els desconeguts.

Aksoy i Haralick (1998) van utilitzar els nivells de gris de la matriu de coocurrència (Grey Level Co-occurrence Matrix, GLCM) per a l'obtenció d'imatges, i van aconseguir un alt percentatge de precisió, mentre que He i Collet (1999) van combinar la informació espectral amb la informació de textura derivada de la matriu GLCM per a la elaboració de mapes d'usos del sòl amb xarxes neuronals. Tanmateix, la majoria d'imatges històriques sols estan disponibles en escala de grisos i no és possible fer-ne una anàlisi espectral.

Per dur a terme aquesta tasca d'anàlisi de la textura entre el veïnatge d'un conjunt de píxels les Xarxes de Neurons Artificials (Artificial Neural Networks, ANN) poden ser molt útils, ja que proporcionen un mètode per detectar relacions no lineals, complexes, entre els mesuraments de textura i tipus de cobertura que seria difícil determinar amb mètodes estadístics estàndards. Les ANN poden definir-se com a models matemàtics inspirats en els sistemes biològics, adaptats i simulats en ordinadors convencionals (Lara, 1998). Aquests estan basats en el funcionament del cervell humà, el qual respon a un sistema altament complex, no-lineal i paral·lel. Les ANN permeten realitzar moltes operacions simultàniament, a diferència dels ordinadors comuns que són de tipus seqüencial i es caracteritzen per presentar les següents propietats: autoaprenentatge, elevada plasticitat i adaptabilitat, gran nivell de tolerància als errors i un comportament altament no-lineal. Les ANN han suscitat un interès exponencial en la darrera dècada i se n'ha estès satisfactòriament la seva utilització amb aplicacions en un ampli ventall de camps, com ara la medicina, biologia molecular, ecologia, ciències mediambientals i la classificació d'imatges (Atkinson i Tatnall, 1997, Lek i Guégan, 1999), tant en el reconeixement de patrons com en la predicció.

Diverses investigacions han utilitzat aquesta metodologia per a la classificació de les imatges de satèl·lit. La gran majoria però, utilitzen la informació espectral de les imatges (Aria et al., 2003; Aitkenhead i Wright, 2004) i altres la combinen amb informació textural de les imatges (Dutra et al., 1998). Aquests estudis, però, únicament han estat aplicats a imatges amb resolució espectral com la clau base de la identificació sense avaluar el potencial de classificació semiautomàtica per a imatges pancromàtiques. Avaluar aquest potencial seria molt interessant

davant el registre fotogràfic històric en blanc i negre disponible, com el cas de les fotografies aèries de Catalunya dels anys 50.

3.1.5. Objectius específics

Davant la necessitat de caracteritzar els processos de transformació que han tingut lloc a la DOQ Priorat, i la manca d'informació multispectral històrica i de detall per portar a una cartografia d'usos i cobertes del sòl, el capítol planteja:

- a) Obtenir una cartografia d'usos i cobertes del sòl, a escala detallada, que permeti establir les successions d'usos del sòl i caracteritzar així els processos de canvi que han tingut lloc a la DOQ Priorat del 1956 al 2005.
- b) Analitzar l'interès metodològic d'utilitzar les capacitats de reconeixement de les xarxes neuronals per classificar els usos i cobertes del sòl a partir d'imatges històriques, pancromàtiques, d'alta resolució (5 metres), que no tenen informació espectral útil per a la classificació.
- c) Quantificar i analitzar els processos de canvis d'usos i cobertes del sòl per tal de determinar l'evolució espaciotemporal, la successió i la dinàmica de canvi que té lloc entre les categories d'usos del sòl.

3.2. MATERIALS I MÈTODES

Tot i l'existència de bases cartogràfiques d'usos del sòl (procedents del DMA, MAPYA o CREAM), la seva utilització no ha estat viable per la baixa resolució espacial, limitacions en la llegenda i inexistència de cartografia actual i històrica. Per aquests motius i davant els processos que afecten el territori, ha estat imprescindible l'elaboració d'una cartografia temporal dels usos i cobertes del sòl de la zona a una escala espacial i temàtica detallada.

El capítol s'estructura en les fases següents:

1. Obtenció d'una base cartogràfica detallada (temàtica i espacial) i multitemporal (1956-1986-1998-2003-2005).
2. Cartografia d'usos i cobertes del sòl a escala local (1:5.000) i multitemporal (1956-1986-1998-2003-2005).
3. Desenvolupament d'una metodologia de classificació semiautomàtica detallada (temàtica i espacial) (1:5.000) i multitemporal en base a imatges pancromàtiques d'alta resolució.
4. Anàlisi de la dinàmica espaciotemporal dels usos i cobertes del sòl (1956 – 2005).

Per a l'anàlisi temporal s'ha maximitzat el període tant com ho ha fet possible la disponibilitat d'informació (1956-2005). L'escala detallada d'anàlisi ha estat imprescindible per poder detectar i identificar amb fidelitat el mosaic d'usos del Priorat, configurat tradicionalment per parcel·les de mida reduïda, més de la meitat inferiors a 5 ha (Margalef i Tasia, 1985).

L'anàlisi s'ha centrat en el terme municipal de Porrera, municipi de la DOQ Priorat amb major superfície (16% del total de la DOQ Priorat), i on es localitzen les parcel·les experimentals on s'ha desenvolupat la resta del treball d'investigació.

3.2.1. Material

3.2.1.1. Material cartogràfic i fotogramètric

Tot i els avenços en la producció i tractament d'imatges de satèl·lit com a base cartogràfica, la manca de registres històrics i la poca resolució espacial n'han limitat la utilització en el present estudi. Tanmateix, i de cara a la seva utilització per a les dades recents d'estudi, s'ha optat per escollir les mateixes tècniques en la interpretació de les dades de base per tal de generar mapes d'usos i obertes comparables i no sobreestimar els resultats finals (Petit i Lambin, 2001).

En la *Taula 3.1* es presenta la relació i característiques del material utilitzat per a l'elaboració de la base cartogràfica. L'elecció s'ha realitzat en funció de criteris tècnics i pràctics: l'aptitud del material (bàsicament l'abast i l'escala del vol) i la disponibilitat de la informació cartogràfica. L'elecció ha estat fortament condicionada i limitada pel poc ventall de fonts històriques amb una resolució acurada.

Taula 3.1. Material bàsic de teledetecció utilitzat.

<i>Data vol</i>	<i>Format</i>	<i>Total material</i>	<i>Font</i>	<i>Escala</i>	<i>Resolució espectral</i>	<i>Resolució espacial final</i>
09/1956	Fotografies aèries paper	6 fotos	Vol americà	1:32.000-1:34.000	Pancromàtic	0,50 m
07/1986	Fotografies aèries paper	14 fotos	ICC	1:18.000	Pancromàtic	0,25 m
07/1998	Ortofotomapes digital	11 fotos	ICC	1:5.000	Pancromàtic	0,50 m
06/2003	Fotografies aèries paper	30 fotos	GEODISA	1:10.000	Pancromàtic	0,20 m
08/2005	Imatge satèl·lit QuickBird	Escena 5,54 x 12,89 km ²	DIGITAL GLOBE		Pancromàtic Multiespectral	0,70 m 2,80 m

Paral·lelament s'ha utilitzat la cartografia de suport que es presenta a la *Taula 3.2*.

Taula 3.2. Cartografia de suport per al preprocessament i anàlisis

	<i>Format</i>	<i>Font</i>	<i>Escala</i>
Mapa Topogràfic	Digital dbf/dxf	ICC	1:5.000
Cadastre Rústica 2003	Digital dbf/dxf	DG del Catastro	
Base Geològica	Digitals dbf/dxf	ICC IGME	1:50.000

Límits administratius comarcals i municipals	Format Miramon (.mmz)	DMAH	1: 50.000
Xarxa Hidrològica, Nuclis de Població, Xarxa de carreteres principal i secundària	Format Miramon (.mmz)	DMAH	1:250.000

ICC. Institut Cartogràfic de Catalunya.
 IGME. Institut Geològic i Miner d'Espanya.
 DMAH. Departament de Medi Ambient i Habitatge.

3.2.1.2. Programes informàtics

S'han utilitzat els següents programes de tractament d'imatges i sistemes d'informació geogràfica, per al tractament de les imatges i generació d'ortoimatges:

- ArcGIS 9.0 de ESRI® (Environmental Systems Research Institute) ArcMap™ 9.0 És un programa professional de SIG de tipus 'desktop' per al processament de les imatges i l'anàlisi dels usos del sòl. S'ha utilitzat per a la digitalització de la cartografia d'usos, per a l'anàlisi de dades i per obtenir la cartografia i informació de la superfície del terreny com el MDT, pendents, etc. Aquest està compost per diversos mòduls (ArcMap, ArcInfo, ArcCatalog i ArcToolsBox)
- ERDAS Imagine 8.7 de Leica Geosystems. Programa de tractament d'imatges. S'ha utilitzat per dur a terme tot el procés de generació de la base cartogràfica (ortorectificació) i creació dels mosaics.
- Programari IDRISI32 Versió I32.2, de Clarks Labs (1987-2002), Worcester, (Massachusetts-EUA). Programa professional de tipus SIG d'anàlisi de dades de tipus vectorial i ràster. S'ha utilitzat per a la validació dels resultats de la classificació mitjançant xarxes neuronals i l'anàlisi d'usos del sòl.
- MiraMon® Versió 4.0 vh. Sistema d'informació geogràfica i programari de teledetecció; programa de visualització, consulta i edició de mapes ràster i vectorials. Elaborat per Pons, X (1994-2002), Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals (CREAF). Bellaterra (Barcelona). Utilitzat per a l'exportació de la informació cartogràfica.
- Microsoft® Excel 2000. Programa de tractament i processament de bases de dades. Utilitzat per al tractament de dades i anàlisi estadística.
- Visual Basic C++. Programa de programació utilitzat per a la creació i per fer córrer el model de xarxes neuronals per a la classificació de les ortoimatges i ortofotomapes.

3.2.1.3. Altres instruments

- Processador Intel Pentium 4 CPU, 2,80 Ghz, 1.047,28 MB de memòria RAM, sota el sistema operatiu Windows 2000 (Service Pack 3).
- Escàner mida A3, EPSON Expression 1640 XL, per a l'escaneig de les fotografies aèries.

- Estereoscopi convencional: TOPCON M3, per al procés de fotinterpretació.

3.2.2. Mètodes

L'esquema metodològic seguit per a la creació de la base cartogràfica i l'elaboració dels mapes d'usos i cobertes del sòl, tant amb la tècnica tradicional de la fotinterpretació com la classificació semiautomàtica de les Xarxes Neuronals, es presenta a la *Figura 3.1*.

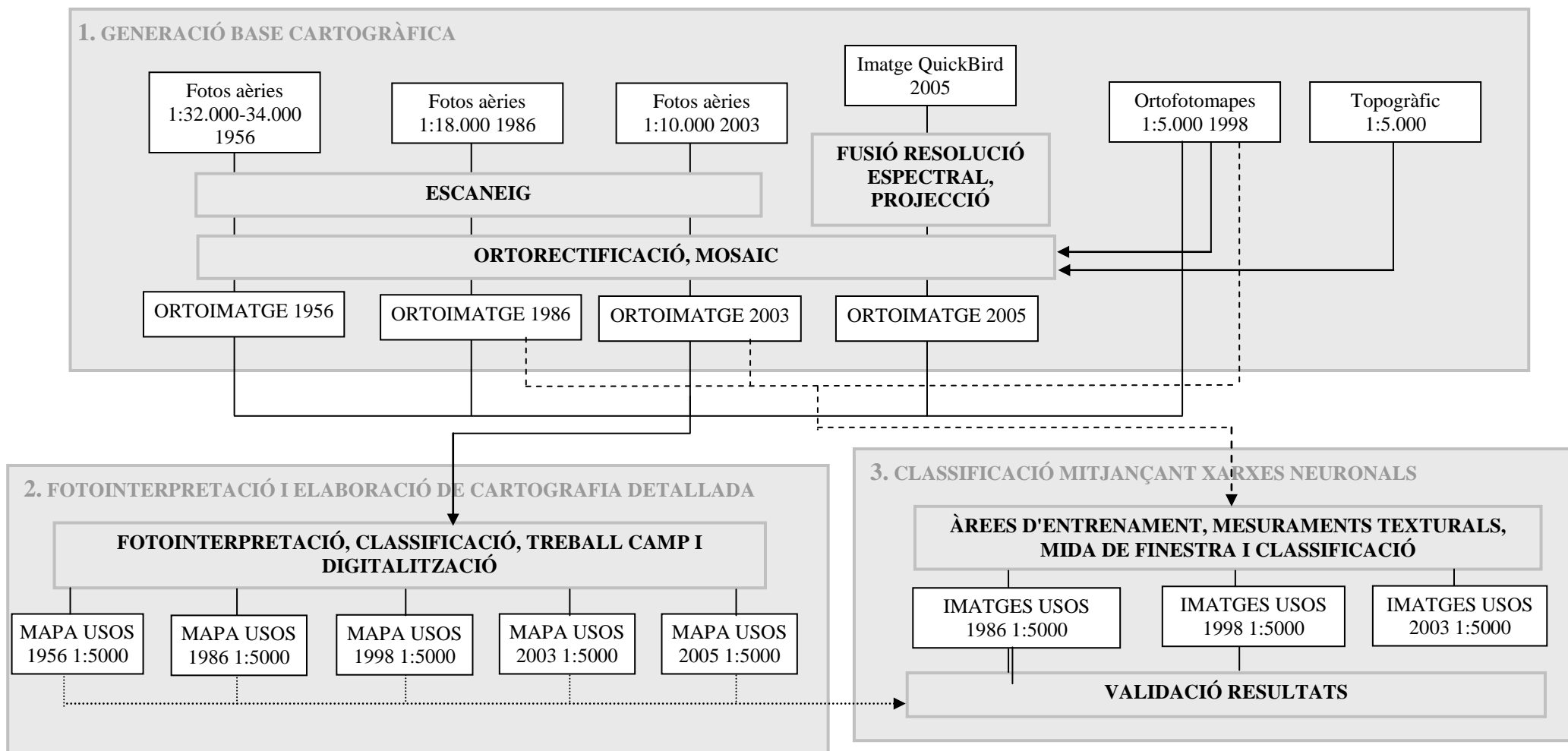


Figura 3.1. Esquema metodològic seguit per a la creació de la cartografia multitemporal i detallada dels usos i cobertes del sòl.

3.2.2.1. Generació de la Base Cartogràfica multitemporal i detallada (1:5.000) dels usos i cobertes del sòl

La manca d'ortofotomapes de la zona a estudi per a les dates d'anàlisi ha implicat haver de generar-los a partir de fotografies aèries. Tot i que aquest material presenta certa fidelitat geomètrica, no és resultat d'una projecció ortogonal, sinó central (cònica), la qual cosa implica que la imatge final presenti desplaçaments dels objectes gràfics representats, que afecta la uniformitat de l'escala al llarg de la fotografia. A més, no té projecció cartogràfica ni està georeferenciada. Per tant, i per tal que aquestes imatges puguin ser utilitzades com un mapa (per a la realització de càlculs en superfície, mesures de distància, etc.), cal sotmetre-les a un procés d'ortorectificació. Aquest es duu a terme mitjançant la utilització de tècniques fotogramètriques, que permeten eliminar la distorsió inherent provocada per l'esfericitat i l'orografia de la superfície terrestre, la utilització de lents biconvexes, l'orientació de la càmera i/o els perifèrics d'entrada (escàner) en transformar la imatge de format analògic a digital. Tot i que aquest procés podria arribar a obviar-se i no es contempla en molts treballs amb fotografies aèries, l'error que contenen les imatges degut a les diferències de relleu i el pendent de la zona, faria, en el cas del Priorat, inviable l'estudi dels canvis per sobreestimació de la superfície.

L'ortorectificació de les fotografies aèries i imatge de satèl·lit va preveure els següents passos (Erdas, 1999; Erdas, 2001; Martí i Pintó, 2003):

- i. **Preprocessament de les fotografies aèries:** escaneig i preparació del format digital apte per al posterior tractament de les imatges.
- ii. Preparació de la **cartografia de suport** per a l'ortorectificació: **Punts de Control (GCP)** i construcció del **Model Digital d'Elevacions (MDE)**.
- iii. Procés d'**ortorectificació de les fotografies aèries** de l'any 1956, 1986 i 2003: **orientació interna, orientació externa i correcció pel relleu** (remostreig). Aquest procediment fotogramètric permet obtenir les ortoimatges, amb projecció ortogonal, fidedignes de la superfície a analitzar.
- iv. Ortorectificació de la **imatge QuickBird-2 2005: reprojecció, correcció de paràmetres** adquisició (fitxer RPC), **unió de la resolució espectral i pancromàtica** (merge resolution) utilitzant el mètode del component principal, **georeferenciació i correcció del relleu** (Leica Geosystems, 2003, Salvini et al., 2004, Vanwambeke, 2005).
- v. Creació de **mosaic** per a 1956, 1986, 1998 i 2003.

El procediment utilitzat per a les fotografies aèries i la imatge de satèl·lit Quickbird és diferent donada la naturalesa de cada material. Tot i l'existència de tècniques fotogramètriques més professionals que permeten disminuir el temps del procés, els costos econòmics també són molt elevats. Per això l'ortorectificació s'ha dut a terme mitjançant un programari de tipus *desktop* especialitzat, seguint el procediment proposat per Erdas (2001) i Martí i Pintó (2003). Més informació sobre el procediment d'ortorectificació es pot consultar a Cots-Folch (2004).

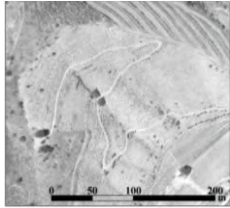
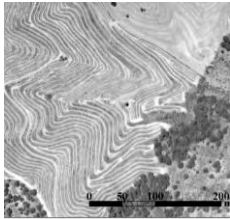

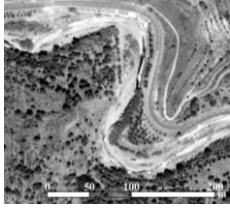
3.2.2.2. Elaboració de cartografia detallada i multitemporal d'usos i cobertes del sòl mitjançant fotointerpretació

- i. **Identificació de les categories.** Per al reconeixement i classificació dels principals usos es va combinar el treball de camp, la fotointerpretació i la digitalització. La resolució temàtica de la classificació es va establir en base als principals usos que ocupen el territori i que són representatius dels processos que hi tenen lloc, i que permetin donar una resposta a l'objectiu de la investigació. En la *Taula 3.3* es resumeixen les 10 classes considerades.

La resolució temàtica utilitzada té en compte cobertes i usos del sòl indistintament.

Taula 3.3. Llegenda de la classificació dels usos i cobertes del sòl

<i>Classe</i>	<i>Codi</i>	<i>Descripció</i>
1. Bosc dens	DF	Espècies forestals amb cobertura arbòria superior al 40%. Principalment ocupades per <i>Quercus ilex</i> , <i>Pinus halepensis</i> i <i>Pinus nigra</i>
2. Bosc clar	LF	Espècies forestals amb un recobriment de capçades arbòries entre el 5 i el 40%. Espècies dominants són <i>Quercus ilex</i> i <i>Pinus halepensis</i>
3. Matoll	SC	Recobriment de capçades arbustives superior al 20% i arbòries inferiors al 5%. Espècies dominants <i>Genista scorpius</i> i <i>Remata sphaerocarpa</i>
4. Cultius de fruits secs	CR	Cultius llenyosos diferents a la vinya, bàsicament avellaners, ametllers i oliveres
5. Cultius de fruits secs abandonats	AR	Cultius llenyosos diferents a la vinya amb recobriment de capçades arbustives i arbòries que indiquen abandonament.

6. Vinya tradicional		TV	Cultius de vinya de maneig tradicional; ubicats en el vessant original de muntanya amb la presència de marges o terrasses (alçada talús aprox. 0,5 m) de pedra seca. Localment anomenat <i>vinya en coster</i> .
7. Vinya aterrassada		MV	Cultius de vinya en terrasses construïdes amb maquinària pesada (alçada mínima del talús aprox. 2-3 m) que ocasionen forts nivellaments del terreny. Localment anomenat <i>vinya abançalada</i> .
8. Usos urbans		UU	Nucli urbà, edificacions diverses, carreteres i camins principals
9. Llera fluvial		BR	Riu Cortiella i barranc de les Garrantxes
10. Altres		OT	Sòl nu

- ii. **Elaboració dels mapes dels usos i cobertes del sòl** per a les dates 1956, 1986, 1998, 2003 i 2005, mitjançant **fotointerpretació i digitalització en pantalla** en format vectorial (shapefile) i a escala final 1:5000.
- iii. **Homogeneïtzació** de la cartografia amb l'eliminació dels polígons amb una superfície inferior a 100 m² (considerant que la unitat mínima cartografiada és de 2 x 2 mm) i **validació** dels mapes obtinguts mitjançant treball de camp.

Més informació sobre el procediment de fotointerpretació es pot consultar a Cots-Folch (2004).

3.2.2.3. Classificació automàtica d'ortoimatges dels usos del sòl mitjançant propietats texturals i xarxes neuronals

La classificació automàtica de les ortoimatges pancromàtiques s'ha desenvolupat a partir de l'adaptació i l'aplicació dels models creats pel grup d'investigació *Human Resources* del centre de recerca Makaulay Research Institute, en el qual es va realitzar una estada d'investigació. En concret, es va treballar en base al mètode de classificació de Xarxes Neuronals Artificials (ANN- Artificial Neural Network) desenvolupat per Aitkenhead et al. (2003), adaptant-lo per tal que permetés classificar imatges de tipus pancromàtic. Aquesta metodologia ha de permetre

diferenciar patrons texturals per a cada tipus d'ús del sòl o coberta en la imatge, i permetre classificar cadascun dels píxels de la imatge.

La classificació es va realitzar en una àrea representativa del terme municipal de Porrera (280,41 ha) per tal de facilitar l'optimització del model i el temps de processament.

L'aplicació del model i l'obtenció de la cartografia dels usos i cobertes del sòl s'ha desenvolupat en les següents fases:

- i. **Identificació de les àrees model en les ortoimatges.** Les àrees model per a la identificació dels caràcters texturals dels usos del sòl es van obtenir de l'ortoimatge del 2003. Es van identificar entre 3 i 5 polígons per a cadascuna de les 10 categories d'usos del sòl.
- ii. **Obtenció dels valors de les mides de finestra.** Els patrons texturals de cada classe vénen definits per un conjunt de píxels, que defineixen la mida de la finestra de treball. Això implica que calgui treballar amb un conjunt de píxels per poder discriminar les textures característiques. La textura ve definida per la distribució espacial de nivells de grisos en un entorn determinat, que és un caràcter diferenciable de cada tipus d'ús del sòl.

Per l'estudi s'ha seleccionat inicialment una mida de finestra d'entre 3 i 50 píxels quadrats. Aquests valor s'ha determinat seleccionant a l'atzar un punt de la imatge amb un tipus d'ús del sòl, i mesurant el nombre de píxels del tipus d'ús del sòl que hi havia a la finestra, de la qual el píxel seleccionat era el superior esquerre.

La il·luminació i el contrast de la imatge inicial van ser ajustats de tal manera que el valor mínim del píxel de la finestra fos 0 i el màxim 255. Això es va fer per tal d'evitar els problemes ocasionats pels diferents nivells d'il·luminació a través de la imatge.

- iii. **Calibratge del sistema.** S'han utilitzat 100 finestres d'entrenament per a cada ús del sòl per cada mida de finestra seleccionada inicialment. Per a cada finestra d'entrenaments s'ha mesurat la textura utilitzant 10 paràmetres que s'obtenen del càlcul de la matriu de coocurrència de l'escala de grisos de la finestra, de la variació espacial de l'escala de grisos de la finestra (Haralick et al., 1973): contrast, dissimilaritat, homogeneïtat, màxim, segon moment angular, energia, entropia, mitjana, varianza i correlació. Les matrius es descriuen per i, j que són les fileres i les columnes de la matriu de coocurrència de l'escala de grisos.

Les xarxes neuronals s'apliquen d'aquesta forma per al desenvolupament de models matemàtics complexos que descriuen les relacions entre múltiples variables d'entrada i sortida, i ha estat un mètode acceptat per modelar dades complexes per a diversos anys (per exemple, Rumelhart et al., 1986, Bertsekas i Tsitsiklis, 1996). Són particularment útils quan les relacions entre les variables d'interès són desconegudes o poc enteses, i quan la influència potencial d'una variable d'entrada en una variable de sortida és desconeguda, com és el cas. En el present estudi es va utilitzar un mètode de xarxes neurals amb topologia 10:24:24:10 (*Figura 3.2*), en base al teorema de Kolmogorov, que estableix que el nombre de nodes en les capes ocultes ha de ser el doble del màxim de les capes d'entrada o sortida per tal de garantir el perfecte ajust de qualsevol funció contínua (Bishop, 1995). Kavzoglu i Mather (2003) assenyalen que dues capes ocultes són eficients per a la capacitat de classificació dels usos del sòl amb sistemes de xarxes neuronals com els utilitzats en l'estudi.

El sistema és calibrat utilitzant el mètode de contrapropagació. Aquest algorisme matemàtic permet minimitzar l'error del sistema ajustant els pesos entre les connexions i, per tant, les relacions matemàtiques entre les entrades i sortides del sistema de tal manera que els valors

finals siguin els valors de les àrees d'entrenament. El sistema inicial comença amb una xarxa que té funcions matemàtiques ponderades a l'atzar i ajusta aquestes connexions en funció del valor final de l'àrea d'entrenament. A mesura que el sistema es va adaptant a les àrees d'entrenament, canvien els pesos en les connexions, donant lloc a un sistema que s'ajusta més a l'actual relació entre les variables (caràcter textural i valors d'usos del sòl).

Per a més detalls sobre el mètode utilitzat consulteu Aitkenhead et al. (2003) i Cots-Folch et al. (2007).

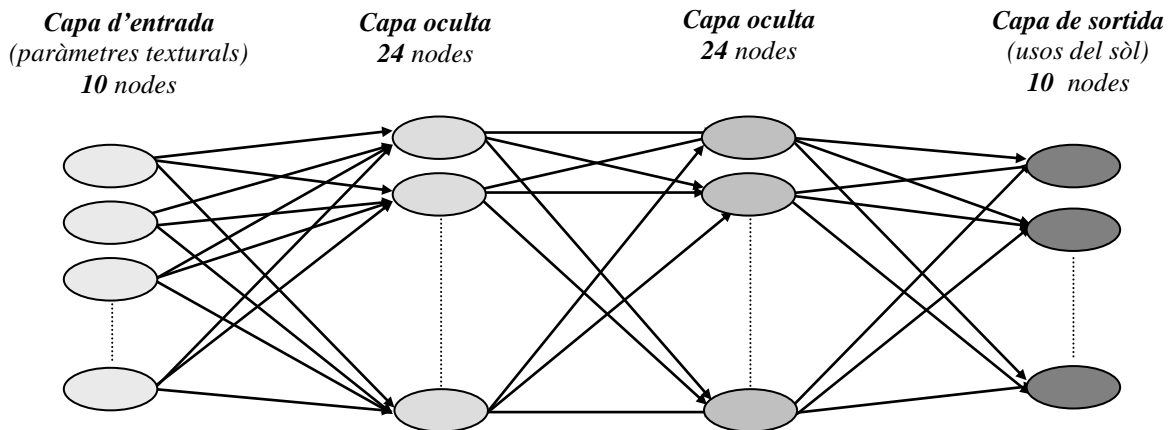


Figura 3.2. Disseny de l'arquitectura del sistema de xarxes neuronals utilitzat per a la classificació.

iv. **Creació de mapes de diferents anys.** En base al percentatge de precisió, el temps de processament de l'ordinador i la necessitat d'identificar tots els tipus de cobertura del sòl d'interès es va escollir una mida de finestra de 20 píxels. Per sobre d'aquesta mida, certs tipus de coberta vegetal i, en particular les carreteres, no van ser reconeguts per les xarxes neuronals. Les mesures de textura es van fer en la mida de la finestra seleccionada per a totes les imatges a estudi. Es van utilitzar imatges per tres anys diferents, 1986, 1998 i 2003. Cadascuna de les imatges va ser remostrejada per proporcionar la mateixa resolució (1 m). Per a la classificació es va utilitzar el sistema de xarxes neuronals calibrat amb el mínim error per la mida de finestra de 20 m. El sistema determina el valor textural per cada píxel de la imatge, i utilitza la mesura com a entrada al sistema de xarxes neuronals i per predir el tipus d'ús del sòl. De les 10 possibles sortides d'usos per a cada píxel, s'assigna el que presenta el valor de predicció més elevat, establint que aquest (i en l'interval [0,1]) ha de ser almenys 0,1 punts més gran que el segon amb major valor predictiu. Per identificar aquells píxels sense un valor final clar, es va entrenar i aplicar un segon sistema de xarxes neuronals que utilitzava una combinació de dades amb valors de textura i de veïnatge de píxels. Per a les dades d'entrenament es van utilitzar 1000 cel·les per a les quals hi havia un valor guanyador i per al qual algun o totes les 8 cel·les veïnes havien estat identificades. Aquesta xarxa secundària utilitzada, dissenyada amb la mateixa arquitectura que la xarxa primària, va permetre identificar amb seguretat tots els píxels que inicialment no es van classificar i que la xarxa primària no havia pogut classificar amb seguretat.

v. **Avaluació de la precisió dels mapes d'usos i cobertes del sòl.** Per millorar el resultat final, es va dur a terme una revisió de la classificació de les àrees de mida molt petita en l'àrea d'estudi i amb baixos nivells de precisió (urbanes, carreteres i aigua).

En aquesta fase, es va decidir fusionar les classes de fruits de secà abandonats, amb els fruits de secà a causa de la dificultat de diferenciació.

Tanmateix, per reduir el soroll en els mapes derivats, es va aplicar un filtre de categoria (la majoria) (Chuvienco, 2002) i es van eliminar les àrees amb un mida menor a 400 m² i no representatives a escala 1:5000. Aquesta sèrie d'operacions són operacions de reducció del 'soroll de sal i pebre' (*salt-and-pepper noise*) generat en la imatge de sortida a causa de la manca de consideració de l'efecte de veïnatge i la complexitat del paisatge (Chuvienco, 2002). Els mapes finals van ser comparats amb les zones escollides aleatòriament (Hord i Brooner, 1976), obtingudes per fotointerpretació i treball de camp amb coneixement expert. Les zones escollides es corresponen amb el 15% de l'àrea total d'estudi, el que representa més del mínim de 50 píxels per cada tipus d'ús del sòl, valor considerat per obtenir una estimació fiable de l'error segons proposa Hay (1979) o Congalton (1991), i més de l'1% de l'àrea total d'estudi proposat per Congalton (1988).

Per avaluar la capacitat del mètode de classificació en base a les característiques texturals de l'ortomatge pancromàtica, es va crear una matriu de confusió per a cada any d'estudi (Chuvienco, 2002). Per cada mapa d'any a estudi es va generar una matriu de confusió (amb valors n x n, on "n" és cada tipus d'ús o coberta del sòl), que permet el càlcul de la fiabilitat predictiva del sistema relativa de cada tipus d'ús o coberta del sòl. Amb això s'aconsegueix la viabilitat global del mapa i la taxa errors d'omissió i errors de comissió (Aronoff, 1982, Story i Congalton, 1986), així com l'error proporcional global. També es va calcular l'índex estadístic de KIA (Kappa Índex of Agreement – Índex d'Acord Kappa) (Rosenfield i Fitzpatric-Lins, 1986) (*Equació 3.1*), que varia entre 0 (que indica que no existeix correlació) i 1 (que indica una correlació perfecta).

$$k_i = \frac{P_{ii} - P_{i(1)}P_{i(2)}}{P_{i(1)} - P_{i(1)}P_{i(2)}} \quad (\text{Equació 3.1})$$

On p_{ii} és la proporció de la imatge en la qual la categoria i concorda en ambdues dates, $p_{i(1)}$ és la proporció de la imatge en la classe i en la imatge 1 (imatge de referència) i $p_{i(2)}$ és la proporció de la imatge en la classe i en la imatge 2 (imatge no referència).

L'examen visual dels mapes generats també es va dur a terme per tal d'avaluar l'estructura, la fragmentació, i altres característiques visibles.

3.2.2.4. Anàlisi de la dinàmica espaciotemporal dels usos i cobertes del sòl (1956 – 2005).

Donats els resultats preliminars de l'aplicació de la metodologia de classificació amb xarxes neuronals, l'anàlisi dels canvis d'usos i cobertes del sòl es va dur a terme en base a la cartografia obtinguda amb fotointerpretació, a més de ser el tipus de cartografia que disposa d'informació en un rang temporal més gran (1956 – 2005).

L'anàlisi va consistir a determinar les superfícies d'usos del sòl en les dates d'anàlisi: 1956, 1986, 1998, 2003 i 2005. També es va dur a terme una anàlisi espaciotemporal, per detectar les dinàmiques de canvi: 1956-1986, 1986-1998, 1998-2003, 2003-2005, a les quals es fa referència al llarg del treball com a P1, P2, P3 i P4 respectivament.

El component espacial de la informació cartogràfica permet analitzar els processos de successió multitemporals entre categories i dinàmiques de canvi que queden emmascarades en anàlisis simples en base a la superfície total de cada categoria.

i. Caracterització espaciotemporal, dinàmica i taxes de canvi dels usos i cobertes del sòl.

Amb els mapes transformats a format ràster de 5 m de resolució, i mitjançant les aplicacions estadístiques d'anàlisi espacial d'ArcGIS 9.0 i IDRISI32, es van determinar els càlculs de superfície i taxes de canvi de les categories considerades. Per caracteritzar els períodes es va utilitzar el càlcul de les diferències absolutes entre els períodes d'anàlisi (ha i percentatge) i el canvi net entre els períodes analitzats (percentatge) ja que canvis en una categoria de baix percentatge poden ser substancials, mentre que la mateixa escala de canvi en una categoria de cobertura extensa pot representar un valor petit de canvi net (Dry et al., 1992).

Per als càlculs s'han aplicat les equacions següents (Equació 3.2, Equació 3.3, Equació 3.4, Equació 3.5 i Equació 3.6) tenint en compte:

n = nombre de categories considerades

i = data més antiga a_{in} = l'àrea de la categoria n en la data més antiga (i)

j = data més recent a_{jn} = l'àrea de la categoria n en la data més recent (j)

A = Àrea total del territori

p = nombre d'anys existents en el període d'anàlisi.

- Canvi absolut (%): $\text{Canvi absolut de } n \text{ (\%)} = \frac{a_{jn} - a_{in}}{A}$ (Equació 3.2)
- Canvi net (%): $\text{Canvi net de } n \text{ (\%)} = \frac{a_{jn} - a_{in}}{a_{in}} * 100$ (Equació 3.3)
- Taxa de canvi (ha/any): $\text{Taxa de canvi de } n \text{ (ha/any)} = \frac{a_{jn} - a_{in}}{p}$ (Equació 3.4)
- Variació anual (%): $\text{Variació anual de } n \text{ (\%)} = \sqrt[p]{\frac{a_{jn}}{a_{in}}} * 100$ (Equació 3.5)

Equació derivada considerant: $a_{in} * (\text{Variació anual de } n)^p = a_{jn}$ (Equació 3.6)

ii. Successió espaciotemporal entre categories

Per a la detecció dels canvis i successions entre categories d'usos es van utilitzar:

- a) Les matrius de transició, que calculen la coincidència espacial de les variables discretes, localitzant els canvis i determinant quina és la successió entre categories. Aquesta metodologia permet generar matrius no commutatives, en les quals els valors de les dates estan ordenats seqüencialment (Johnston, 1998). Presenten n^2 caselles, on n és el nombre de categories (en el nostre cas el nombre de categories d'usos del sòl) que presenta. Les files representen la data més antiga i per tant, les pèrdues respecte la categoria corresponent de la data més recent, i les columnes corresponen a la data més recent i els guanys en detriment de la categoria de la data més antiga (Dry et al., 1992). Les caselles de la diagonal de la matriu representen els valors de les categories que no han canviat. Aquesta operació s'ha dut a terme a partir de l'aplicació *CROSSTAB* del programa IDRISI32, i de la cartografia en format ràster de 5 m de resolució. Donada la superfície irregular de l'àrea a estudi,

es va aplicar una màscara per tal que els valors de fons de la imatge, i que poden esbiaixar els resultats finals, siguin exclosos del càlcul, mitjançant l'opció *QUERY*.

- b) Índex d'Acord Kappa. És un índex estadístic (*Equació 3.1*) obtingut de les matrius de transició i que dóna informació de la correlació existent entre les matrius de canvi (valors absoluts i proporcionals) i un nou mapa on cada píxel representa els usos en ambdues dates.

L'índex mesura l'associació entre els mapes d'usos del sòl; és a dir, el grau de concordança entre les freqüències observades en ambdós mapes analitzats. El rang de valors i la interpretació és la mateixa que la descrita per l'índex Cramer's V: si existeix una perfecta concordança (no hi ha canvi) la k equival a 1, mentre que si són completament diferents equival a 0. Aquest valor testa els dos mapes analitzats i diu si les diferències són atribuïdes a canvis o bé hi ha una concordança a l'atzar. Els valors de Kappa es poden classificar en tres rangs: valors per sobre de 0,8 (80%) representen una forta concordança, entre 0,4 i el 0,8 (40% a 80%) una moderada concordança, i els inferiors a 0,4 (40%) són indicatius d'una pobra concordança (Congalton, 1996).

- c) Mapa de canvis on es fan espacialment explícits els canvis entre les dates. Poden presentar un màxim de n^2 categories, i cada una d'elles és el resultat d'una combinació entre les categories dels mapes inicials. Per facilitar la interpretació dels mapes resultants davant el gran nombre de classes possibles, es presentaran les combinacions amb una major superfície o que s'han cregut interessants per a l'anàlisi.
- d) Anàlisi entre successions multitemporal. Les aplicacions existents es limiten a l'anàlisi entre dues dates. Per determinar una anàlisi entre successions multitemporal (i donar resposta p.e. a qüestions sobre la recuperació dels usos tradicionals prèviament abandonats) es va dissenyar una metodologia. Aquesta consisteix a realitzar reclassificacions i assignacions de valors únics per a cada categoria d'ús del sòl i data a analitzar. Els valors aplicats són tals que la successió categòrica és única (en aquest cas la suma) i permet una identificació d'aquesta. La metodologia es pot aplicar a un gran nombre de capes i, per tant, de successions temporals.

Com a resultat s'obté un mapa amb la localització de cada seqüència multitemporal d'usos del sòl i les dades espacials associades.

3.3. RESULTATS I DISCUSSIÓ

3.3.1. Base cartogràfica: característiques de les ortoimatges

El procés fotogramètric ha permès ortorectificar les fotografies aèries i obtenir ortoimatges digitals, en les quals s'han remogut les distorsions presents, per possibilitar l'elaboració d'una cartografia fidedigna del terreny. Mentre en altres tipus de territoris (zones planes o sense variacions de relleu) els errors inherents a les imatges poden acceptar-se, en la zona del Priorat, caracteritzada per elevats pendents, les fotografies aèries contenen un gran distorsió.

El programa utilitzat, a diferència de la majoria, és capaç de dur a terme una correcció precisa, i establir per defecte els valors d'aquells paràmetres no disponibles per l'antiguitat del material. Permet, doncs, treballar correctament amb material cartogràfic històric.

Per als diferents passos de l'ortorectificació, el programa ha establert uns valors d'error de l'orientació interna, orientació externa i correcció del relleu, i s'han ajustat fins a obtenir uns resultats finals òptims. Tots els informes d'errors finals es trobaven dins dels marges permesos a les diferents escales de treball, tal i com es detalla en la *Taula 3.4*.

Taula 3.4. Resum de l'error estimat en la generació de les ortoimatges.

DATA	Nº	PÍXEL	GCP TOTALS	RMS MITJA		RMS MÀXIM		RMS MÍNIM	
VOL	FITXERS	(m)		(m)	(píxel)	(m)	(píxel)	(m)	(píxel)
1956	6	0,50	40	2,17	4,53	2,48	5,09	1,85	3,50
1986	14	0,25	113	0,46	1,87	0,50	2,00	0,42	1,66
2003	30	0,20	239	0,38	1,89	0,41	2,07	0,22	1,08
2005	1	0,70	102	0,61	0,87				

Un dels punts crítics del procediment va ser la identificació de punts de control, bàsicament per a l'any 1956, ja que els canvis que han experimentat les infraestructures i els elements que configuren el paisatge han dificultat la localització de punts comuns. L'escala de les fotografies inicials i la qualitat de la imatge són els principals factors que afecten la precisió en l'establiment dels punts de control i, per tant, en la qualitat de la correcció, tal i com es desprèn dels resultats obtinguts. Aquests valors, però, són summament inferiors a les alteracions que poden presentar les imatges si no es realitza el procés, i negligibles a l'escala final de treball.

Finalment, es va crear un mosaic per a cada data a estudi per tal de facilitar la manipulació de les ortoimatges, remoure les àrees que no són d'interès, disminuir els requeriments de processament i agilitzar el procés. Un exemple del mosaic creat, per a una regió de l'àrea a estudiar es mostra en la *Figura 3.2*.

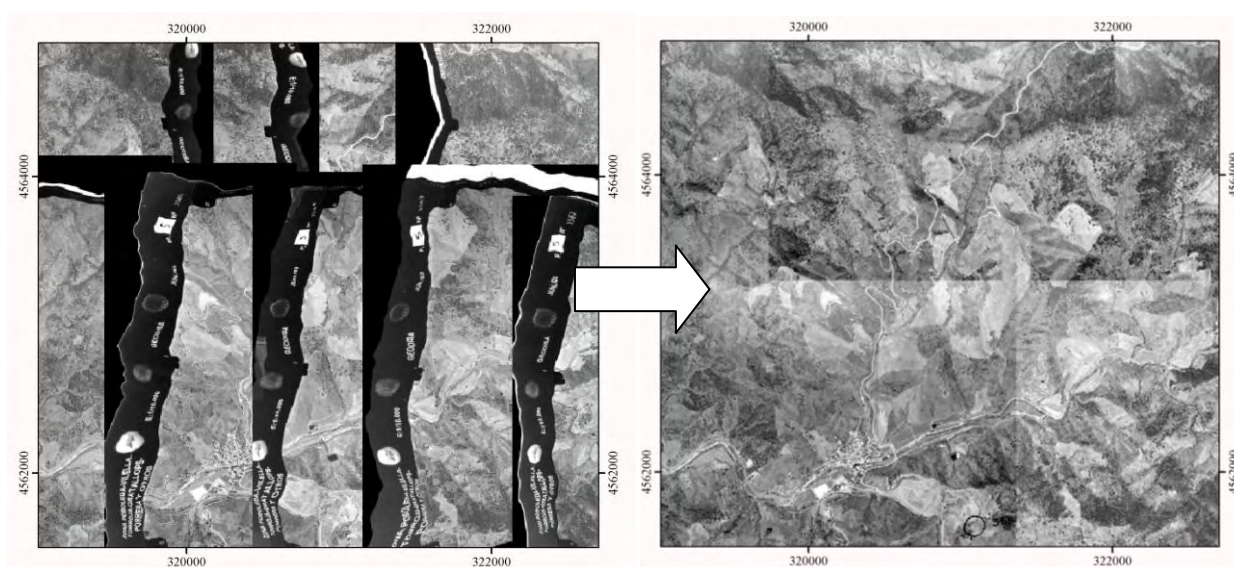


Figura 3.2. Ortoimatges inicials i resultants després de la creació del mosaic.

L'error del procés i la resolució de la imatge són els paràmetres que determinaran l'escala final de les ortoimatges. Cal, doncs, comparar aquests paràmetres i determinar quina és el limitant

En aquest cas, la resolució serà establerta per la mida del píxel, donant lloc a ortoimatges 1:5.000 per l'any 1956, 1:2.500 per l'any 1986 i 1:2.000 per a l'any 2003.

En haver de treballar amb diferents imatges i avaluar-ne els canvis, per tal que el resultat sigui representatiu, la cartografia final ha de presentar la mateixa escala. En aquest cas, serà 1:5000 i estarà limitada per les ortoimatges del 1956 i pels ortofotomapes ja disponibles del 1998. L'error de les ortoimatges es pot considerar negligible.

Tot i que el procés d'ortorectificació és laboriós i implica un elevat consum de temps no pot obviar-se en treballar en una regió com el Priorat. La correcció geomètrica és fonament quan es fan mesures de superfície per minimitzar els errors ocasionats pel desplaçament del relleu que incrementen al treballar amb sensors d'elevada resolució com les fotografies aèries i les imatges QuickBird (Rocchini i Di Rita, 2005; Vanwambeke, 2005).

Així, per exemple, les àrees que es trobessin en el pendent apareixerien deformades a causa de la perspectiva ocular de l'equip fotogràfic, i les àrees allunyades del centre òptic de la fotografia reflexarien deformacions atribuïdes a la distorsió provocada per les lents biconvexes utilitzades per proporcionar la potència d'augment necessària per captar les imatges. L'error que generaria la no ortorectificació de les fotografies aèries pot observar-se a la *Figura 3.3*.

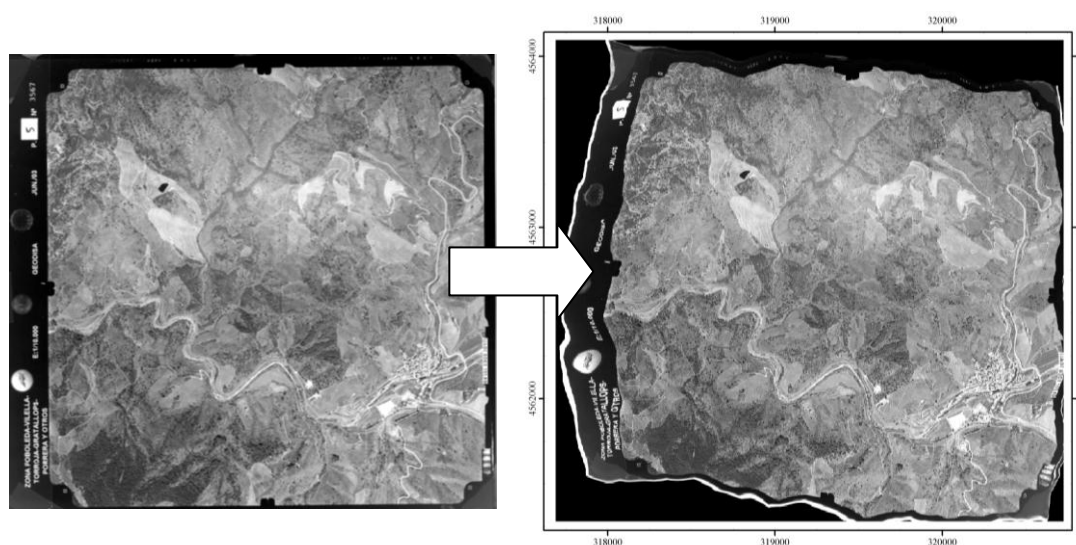


Figura 3.3. Fotografia aèria núm. 3565 any 2003 (esquerra) i ortoimatge corresponent (dreta), en sistema de coordenades UTM. 31 N i European Datum 50.

3.3.2. Cartografia d'usos i cobertes del sòl 1956-1986-1998-2003-2005 mitjançant fotointerpretació

Com a resultat del procediment de fotointerpretació i de la digitalització en pantalla de les ortoimatges es van obtenir 5 mapes d'usos i cobertes del sòl del terme municipal de Porrera per als anys 1956 (*Figura 3.4*), 1986 (*Figura 3.5*), 1998 (*Figura 3.6*), 2003 (*Figura 3.7*) i 2005 (*Figura 3.8*) a escala 1:5.000, i en format vectorial (*shapefile*).

El major problema que es va trobar amb la fotointerpretació fou la diferenciació entre les zones de matoll i vinya per als anys 1956 i 1986: la nitidesa de les imatges i l'escala inicial (1:36.000 i 1:18000 respectivament) en limita la resolució i pot crear confusió. L'altra dificultat va ser establir els límits entre la consideració de bosc clar i bosc dens. En certs casos, bàsicament en zones forestals, la diferent qualitat i color de les imatges podia originar confusió entre les classes considerades.

La manca de cartografia equivalent no permet avaluar la fiabilitat dels resultats, i sols s'ha pogut comprovar a través del treball de camp per a les dades més recents. Per altra banda, tot i disposar de dades procedents d'estadístiques agràries (MAPA, IDESCAT), les diferents classes impedeixen la comparació. Tanmateix i tal i com han observat altres autors (Margalef i Tàssies, 1986; Serra, 2002) les metodologies d'obtenció d'aquestes posen en qüestió la seva fiabilitat

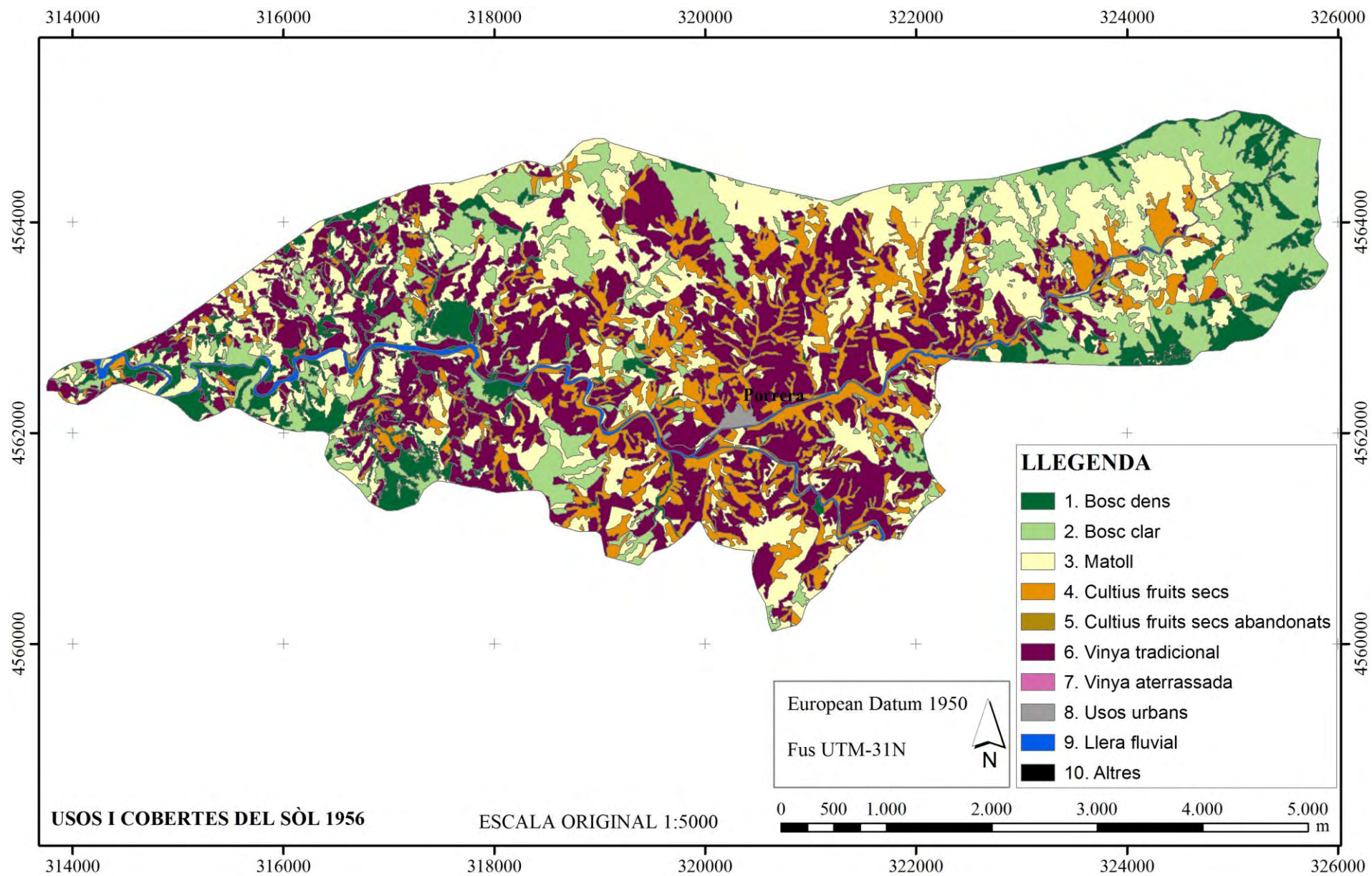


Figura 3.4. Cartografia dels usos i cobertes del sòl de Porrera (DOQ Priorat) 1956. Escala original 1:5.000. Font: elaboració pròpia.

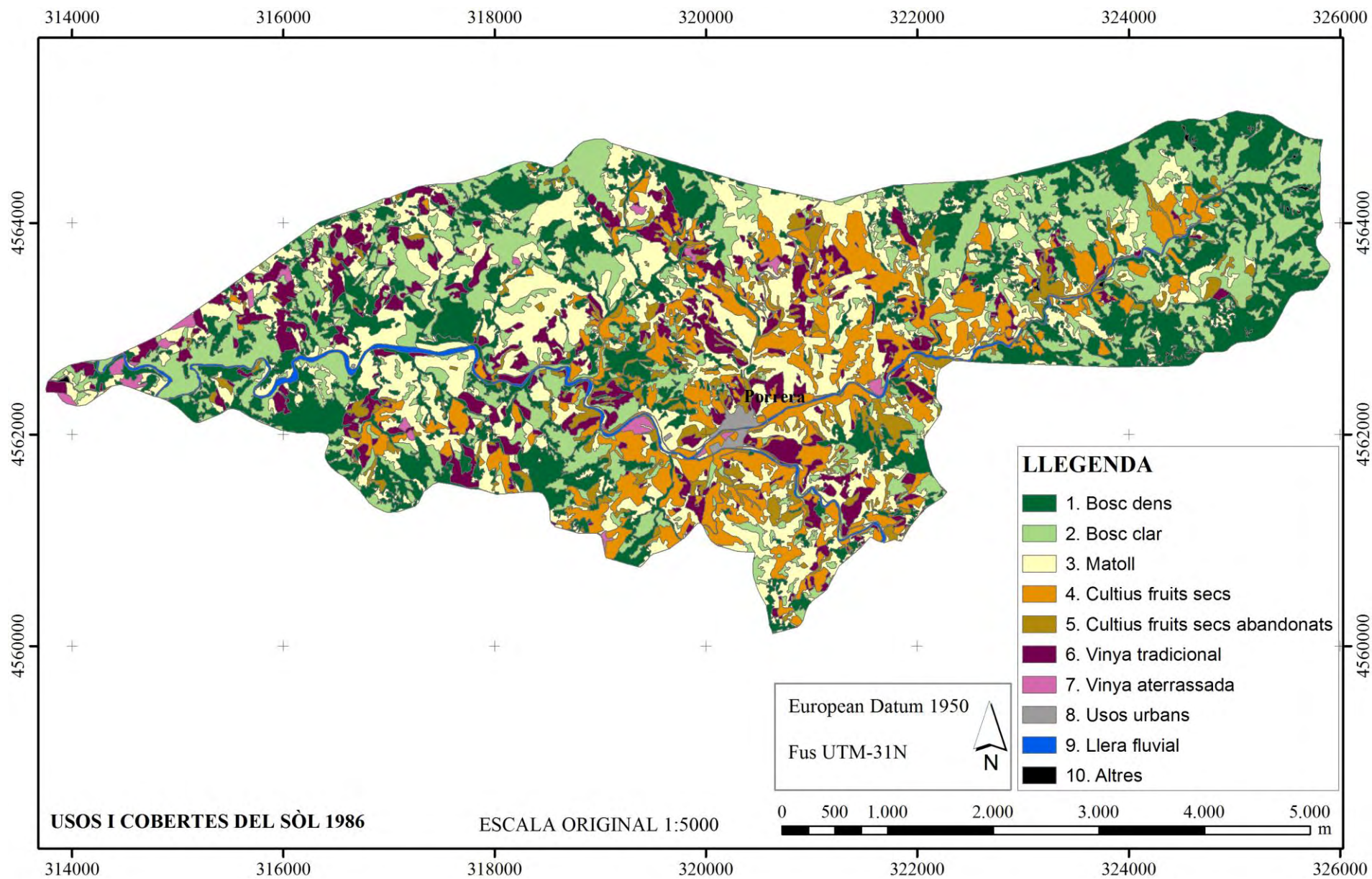


Figura 3.5. Cartografia dels usos i cobertes del sòl de Porrera (DOQ Priorat) 1986. Escala original 1:5.000. Font: elaboració pròpia.

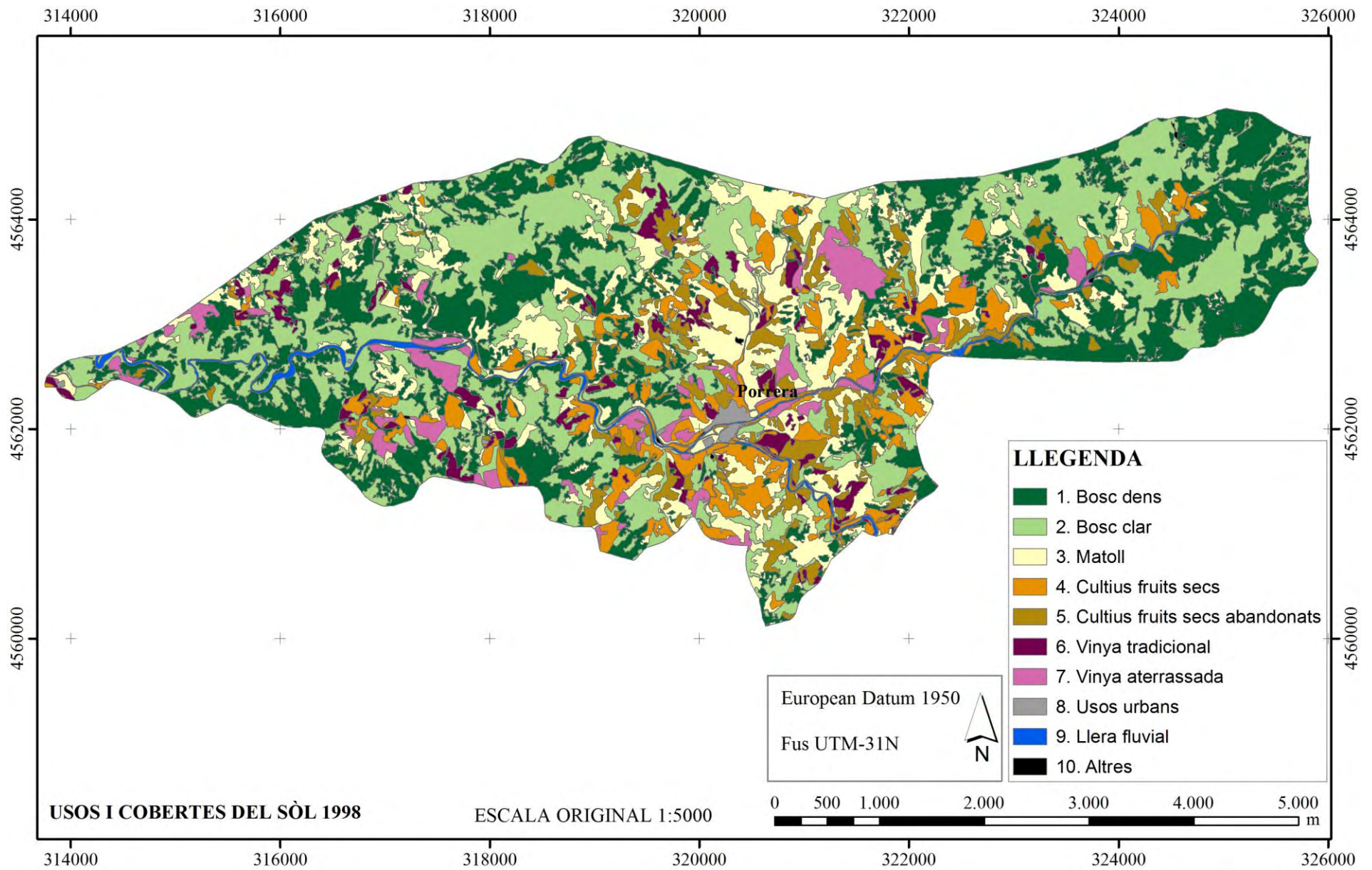


Figura 3.6. Cartografia dels usos i cobertes del sòl de Porrera (DOQ Priorat) 1998. Escala original 1:5.000. Font: elaboració pròpia.

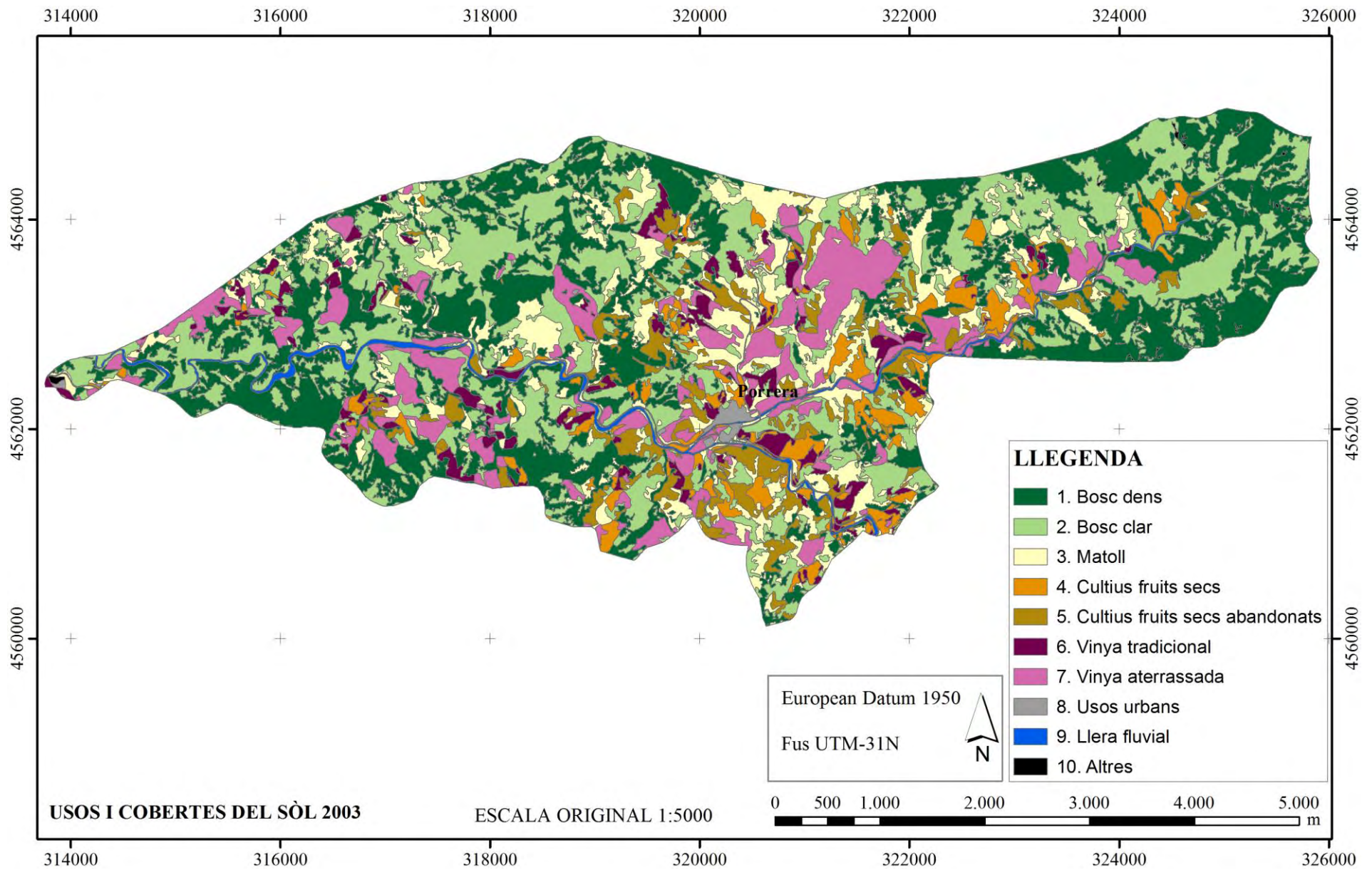


Figura 3.7. Cartografia dels usos i cobertes del sòl de Porrera (DOQ Priorat) 2003. Escala original 1:5.000. Font: elaboració pròpia.

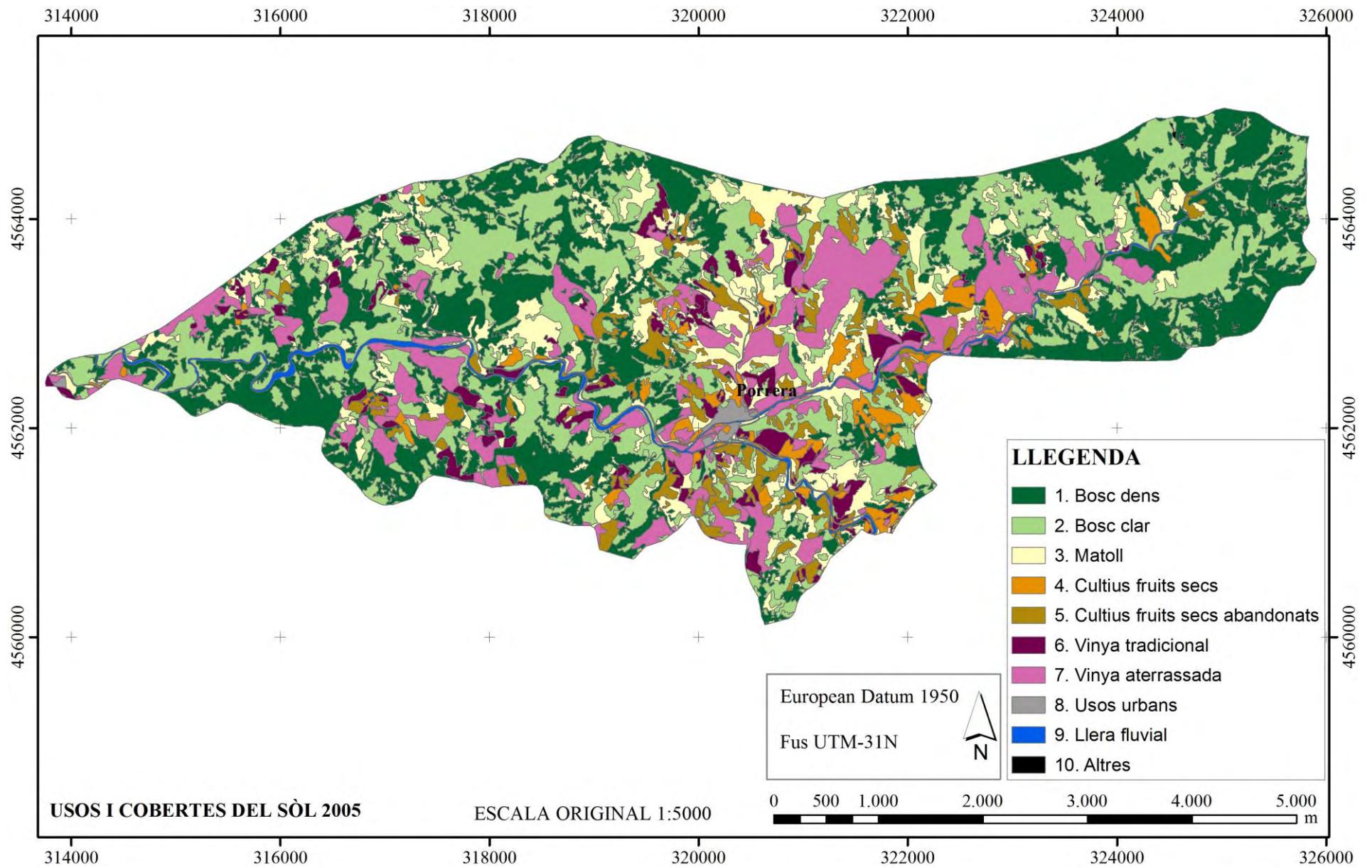


Figura 3.8. Cartografia dels usos i cobertes del sòl de Porrera (DOQ Priorat) 2005. Escala original 1:5.000. Font: elaboració pròpia.

3.3.3. Cartografia d'usos i cobertes del sòl 1986-1998-2003 mitjançant la classificació de xarxes neuronals i anàlisi de correlació entre metodologies.

La *Figura 3.9* mostra la relació entre la mida de la finestra de píxels i la precisió de detecció en base als paràmetres texturals i la classificació de xarxes neuronals. Tenint en compte els resultats obtinguts durant la fase de calibratge del sistema i les limitacions de processament, es va escollir un mida de finestra de 20 x 20 píxels per a la classificació textural. Aquest valor és similar a la mida que han utilitzat altres autors en classificacions texturals (Fdez-Sarría et al. 2003).

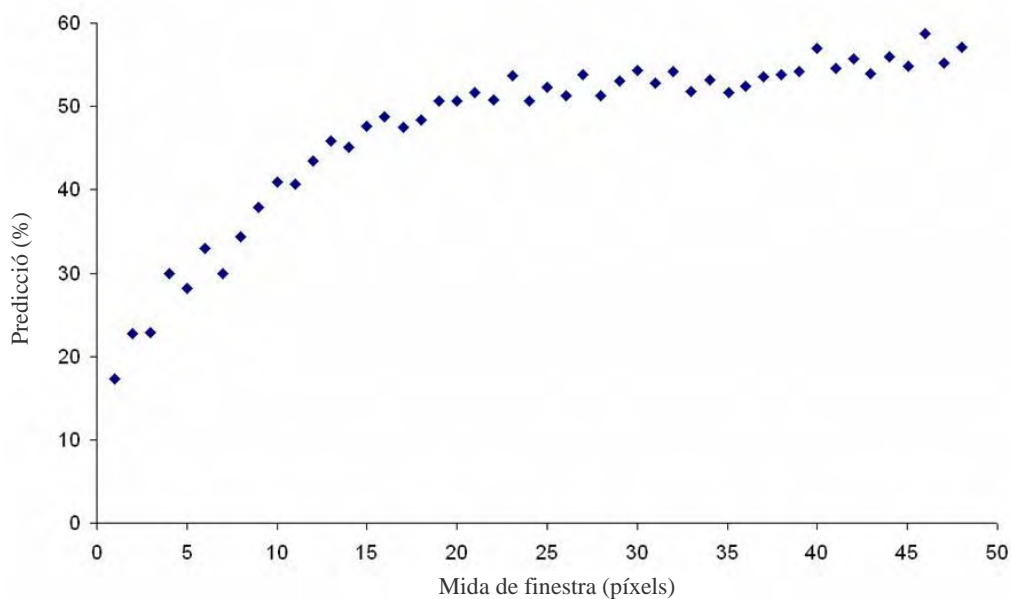


Figura 3.9. Relació entre l'error mitjà del model de xarxes neuronals i la mida de la finestra.

A partir d'aquí es va portar a terme la classificació d'usos i cobertes del sòl mitjançant xarxes neuronals per als anys d'estudi considerats: per a l'any 1986 (*Figura 3.10*), 1998 (*Figura 3.11*) i 2003 (*Figura 3.12*). Inicialment les imatges tenien una resolució d'1 m, i s'ha convertit a 5 m per tal de poder validar-les i comparar-les amb la cartografia obtinguda mitjançant fotointerpretació.

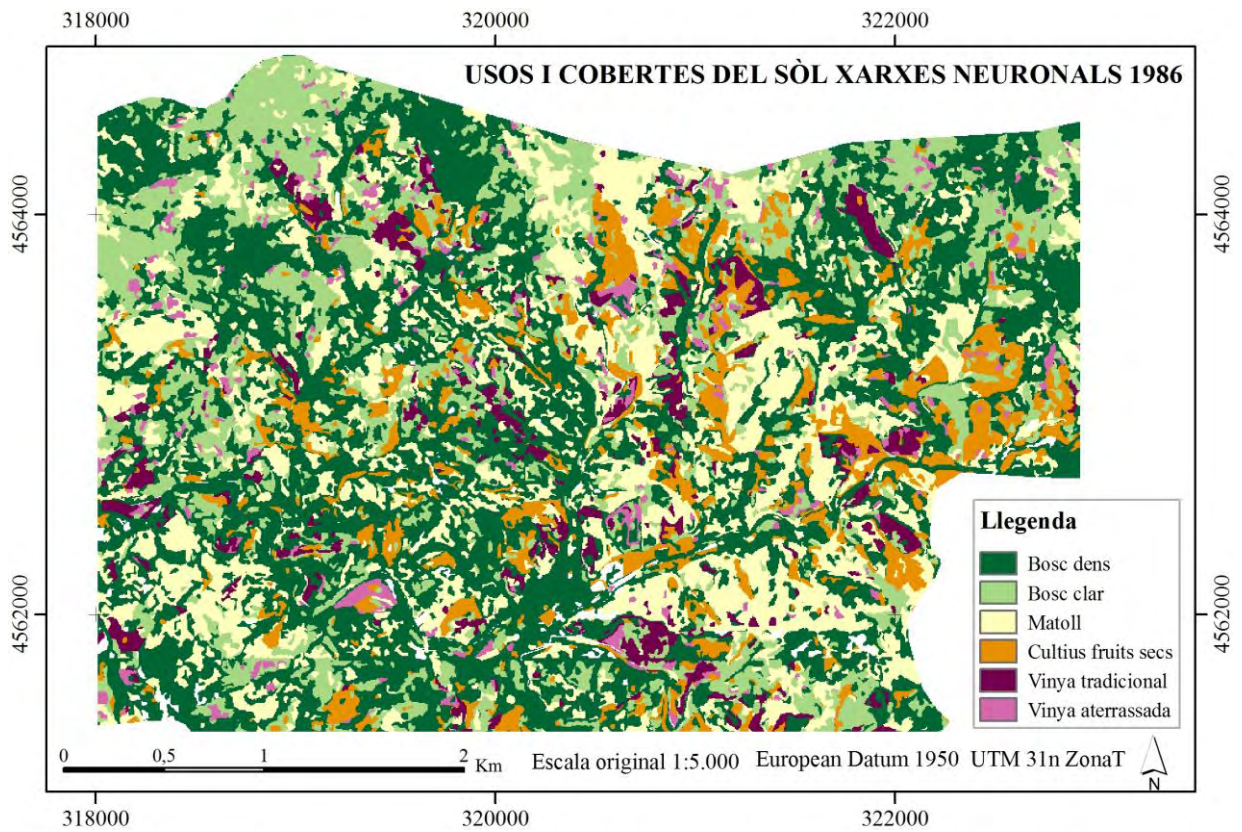


Figura 3.10. Cartografia dels usos i cobertes del sòl de Porrera (DOQ Priorat) 1986 mitjançant classificació de xarxes neuronals.

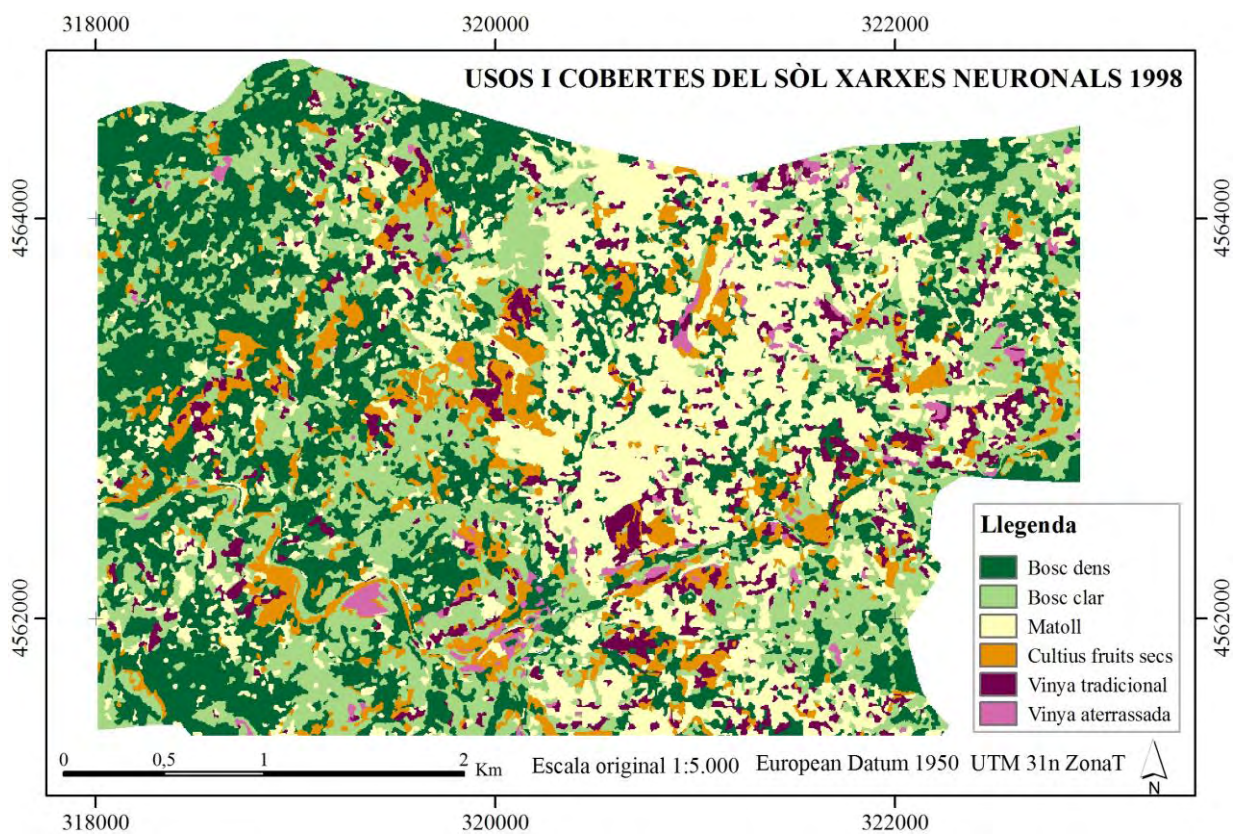


Figura 3.11. Cartografia dels usos i cobertes del sòl de Porrera (DOQ Priorat) 2003 mitjançant classificació de Xarxes Neuronals.

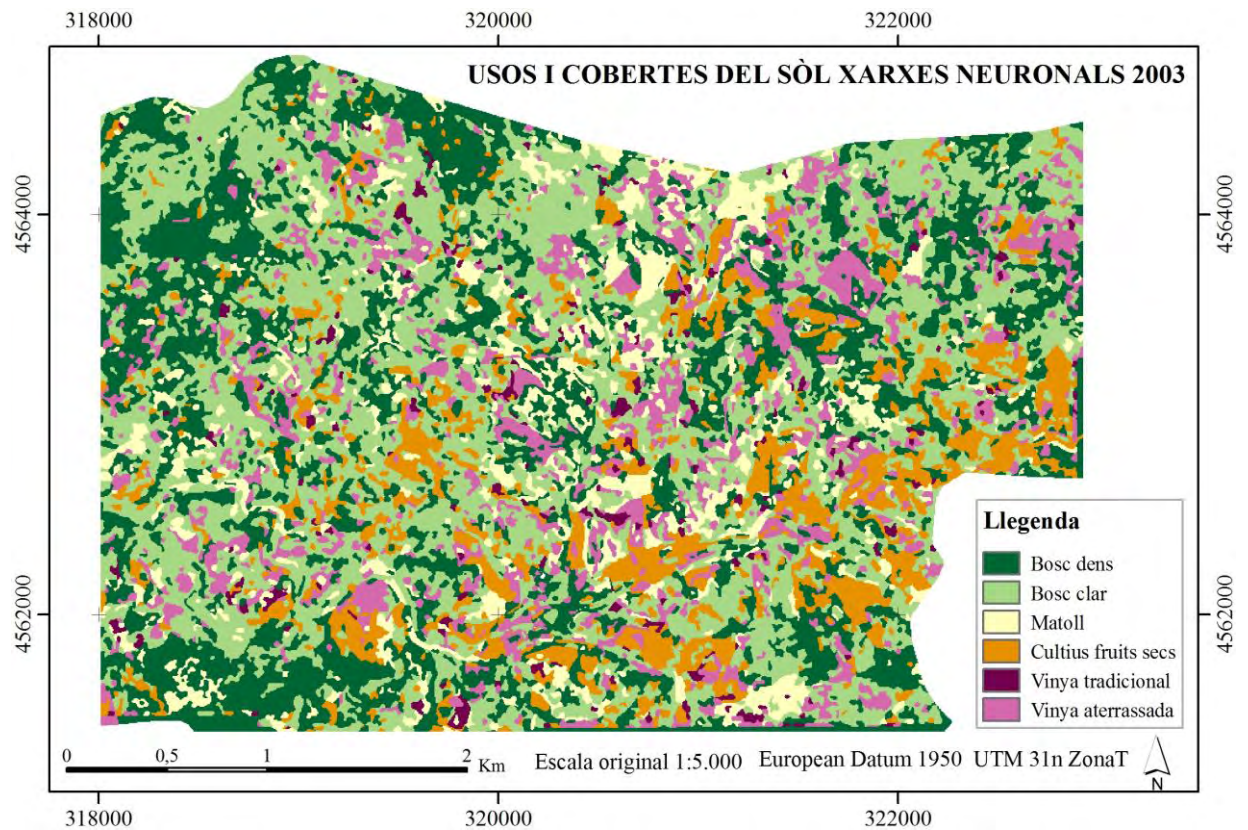


Figura 3.12. Cartografia dels usos i cobertes del sòl de Porrera (DOQ Priorat) 1998 mitjançant classificació de Xarxes Neuronals.

Un examen visual d'aquests mapes, en comparació amb els resultats de la fotointerpretació, mostra que els obtinguts amb les xarxes neuronals són més fragmentats. Això podria ser degut a la morfologia del paisatge en estructura de mosaic i amb unitats d'usos (parcel·les) de mida petita, característic dels paisatges ocupats pels éssers humans al llarg de la història (Chuvieco, 2002), així com per les característiques orogràfiques de les zones de muntanya mediterrània. Els efectes de la fragmentació són comuns en les classificacions digitals i donen lloc a l'anomenat efecte *salt and pepper*. Això es podria resoldre mitjançant l'aplicació d'algun procés de generalització cartogràfica tenint en compte efectes de veïnatge i la complexitat del paisatge en el procés d'assignació (Chuvieco, 2002).

Les matrius de confusió generades per mesurar l'exactitud de la classificació indiquen que les classes d'usos i cobertes del sòl tendeixen a confondre's entre si. A la *Taula 3.5* es mostren aquestes matrius de confusió, amb dades de referència en les columnes i les obtingudes amb la classificació de xarxes neuronals a les files. Els valors en negreta indiquen les proporcions de classes ben classificades. De les matrius s'han derivat paràmetres estadístics de la precisió de classificació a nivell global i per cada classe individualment. Els errors de comissió donen informació sobre quines classes han estat incloses incorrectament en una classe en particular. Els errors d'omissió són aquells que erròniament han estat exclosos de la classificació. A més, es dona l'error global. Per exemple, la proporció de la classe de bosc dens que es classifica com a vinya vella es dona en forma numèrica a la columna 1 i la fila 6 de la *Taula 3.5*.

Taula 3.5. Matriu de confusió per la classificació de 1986, 1998 i 2003, en proporció respecte al total de l'àrea d'estudi. Columnes: classes de referència. Línies: classes del mapa. Les abreviatures de la llegenda es corresponen a: cultiu f.s. (cultiu de fruits secs), vinya trad. (vinya tradicional) i vinya ater. (vinya aterassada).

1986	<i>Bosc dens</i>	<i>Bosc clar</i>	<i>Matoll</i>	<i>Cultiu f.s.</i>	<i>Vinya trad.</i>	<i>Vinya ater.</i>	<i>Error de comissió</i>	KIA
<i>Bosc dens</i>	0,87	0,24	0,06	0,32	0,36	0,28	0,38	0,77
<i>Bosc clar</i>	0,04	0,69	0,04	0,13	0,19	0,03	0,30	0,61
<i>Matoll</i>	0,07	0,02	0,88	0,03	0,03	0,00	0,30	0,86
<i>Cultiu f.s.</i>	0,00	0,01	0,00	0,51	0,00	0,24	0,04	0,43
<i>Vinya trad.</i>	0,00	0,00	0,01	0,00	0,39	0,00	0,05	0,38
<i>Vinya ater.</i>	0,01	0,04	0,01	0,02	0,02	0,44	0,74	0,43
<i>Error d'omissió</i>	0,13	0,31	0,15	0,55	0,71	0,61		
KIA Global								0,60
% predicció								0,70

1998	<i>Bosc dens</i>	<i>Bosc clar</i>	<i>Matoll</i>	<i>Cultiu f.s.</i>	<i>Vinya trad.</i>	<i>Vinya ater.</i>	<i>Error de comissió</i>	KIA
<i>Bosc dens</i>	0,74	0,25	0,09	0,17	0,14	0,03	0,24	0,59
<i>Bosc clar</i>	0,2	0,58	0,02	0,06	0,04	0,05	0,53	0,49
<i>Matoll</i>	0,06	0,11	0,81	0,09	0,16	0,5	0,2	0,72
<i>Cultiu f.s.</i>	0,01	0,02	0,01	0,64	0,11	0,01	0,19	0,61
<i>Vinya trad.</i>	0	0,03	0,07	0,03	0,55	0,22	0,62	0,52
<i>Vinya ater.</i>	0	0,01	0	0,01	0	0,2	0,33	0,19
<i>Error d'omissió</i>	0,26	0,42	0,19	0,36	0,45	0,8		
KIA Global								0,60
% predicció								0,71

2003	<i>Bosc dens</i>	<i>Bosc clar</i>	<i>Matoll</i>	<i>Cultiu f.s.</i>	<i>Vinya trad.</i>	<i>Vinya ater.</i>	<i>Error de comissió</i>	KIA
<i>Bosc dens</i>	0,86	0,07	0,21	0,06	0,05	0,12	0,25	0,81
<i>Bosc clar</i>	0,06	0,7	0,13	0,09	0,28	0,07	0,23	0,59
<i>Matoll</i>	0,04	0,03	0,61	0,01	0,14	0,03	0,22	0,56
<i>Cultiu f.s.</i>	0,03	0,06	0,01	0,79	0,05	0,09	0,18	0,74
<i>Vinya trad.</i>	0	0	0,01	0	0,36	0	0,34	0,35
<i>Vinya ater.</i>	0,01	0,14	0,03	0,04	0,13	0,69	0,51	0,65
<i>Error d'omissió</i>	0,14	0,3	0,39	0,21	0,64	0,31		
KIA Global								0,67
% predicció								0,74

Les matrius de confusió mostren que el mètode de xarxes neuronals desenvolupat permet precisions globals entre el 70% i el 74% amb les dades de referència utilitzades. Els resultats mostren que hi ha un biaix entre determinades cobertes vegetals que tenen propietats texturals similars, i que donen com a resultat una classificació errònia dels usos del sòl. La classificació no va identificar zones urbanes, carreteres i rius. Això podria ser l'alt contrast de textura i a les petites àrees que la integren. Aquests tipus d'ús del sòl en cada un dels mapes està poc representat en comparació amb altres classes, i es va decidir no considerar-los en els resultats.

La cartografia més precisa és la del 2003 (74%). Això s'explica perquè les àrees d'entrenament s'han obtingut d'aquesta imatge. La nitidesa i la intensitat s'assemblen més als valors de 2003, 1998 i 1986 progressivament, així com la precisió de les classificacions. De cara a millorar els

resultats finals es podria utilitzar una àrea d'entrenament per a cada any d'estudi, la qual cosa garantiria la textura característica de cada ús del sòl de la imatge inicial. Pel que fa als resultats del paràmetre estadístic KIA, el valor més alt s'ha assolit per la imatge de 2003, amb un valor de 0,67 entre el mapa de fotointerpretació i el mapa generat per la classificació textural. Això demostra que el mètode de classificació reconeix les característiques texturals dels usos i cobertes del sòl i no assigna classificacions a l'atzar.

Les matrius de confusió ens donen la precisió de la classificació per a cada tipus d'ús cosa que ens permet comprendre millor el funcionament de la metodologia. A la *Taula 3.5* es pot observar que la major exactitud es va obtenir per als usos forestals, particularment per al bosc dens, amb un 86% de precisió total el 2003. Les matrius de confusió dels 3 mapes mostren que la major proporció de píxels erròniament classificats bosc dens ha estat classificada dins de classes forestals diferents o d'altres classes amb una elevada densitat d'arbres. Pel que fa a les altres classes, els fruits secs es confonen amb classes forestals a causa de la textura i la variació similar de la forma dels elements de la imatge. En el cas de les vinyes, el model funciona bé en el reconeixement de les noves vinyes mecanitzades per al 2003, però caldria optimitzar el sistema per a una millor classificació d'aquesta classe. La cartografia de vinyes resulta difícil per la similar cobertura amb altres usos. Així, per exemple, aquesta classe pot ser fàcilment confosa amb la classe matoll (Rubio et al., 2001), molt comuna en aquesta regió mediterrània. Tenint en compte les propietats de textura en la classificació ha estat possible la cartografia de diferents tipus de maneig del cultiu de vinya (nous sistemes de vinya mecanitzats enfront de la tradicional).

El mosaic de gra fi de l'àrea d'estudi i l'elevada resolució del píxel impliquen més zones frontereres entre usos, que afecten la precisió global. La matriu permet determinar quin tipus d'ús del sòl cal millorar a fi d'obtenir més mesures per augmentar la precisió de la classificació.

Un altre factor que cal tenir en compte per a l'anàlisi dels resultats finals és el gran nombre d'usos del sòl considerats. Alguns autors han obtingut una major precisió en la generació de mapes de cobertura del sòl utilitzant xarxes neuronals però treballant amb menys categories i combinant les característiques de textura amb informació espectral (p. e., Mas, 2004). A més, la llegenda detallada i el mosaic de gra fi explica la reducció de precisió global dels mapes generats per la metodologia creada. Tanmateix, una generalització de la llegenda principal implicaria la pèrdua de l'exactitud d'informació temàtica, que cal mantenir per complir amb els objectius de l'estudi.

El mètode proposat presenta avantatges temporals i econòmics importants i no té limitacions per l'escala o resolució, ja que pot ser aplicat a qualsevol conjunt de dades espacials. També es pot utilitzar, com altres autors han experimentat, per millorar els resultats de la classificació basada en imatges espectrals (He., 1999, Berberoglu et al., 2000, Mas, 2004).

3.3.4. Anàlisi de la dinàmica espaciotemporal dels usos i cobertes del sòl

3.3.4.1. Distribució i taxes de canvi dels usos i cobertes del sòl

Davant dels resultats obtinguts en la validació de les classificacions, l'anàlisi dels usos s'ha realitzat en base als mapes procedents de la fotointerpretació perquè són els que tenen la fiabilitat més elevada.

La Taula 3.6 i la Figura 3.13 mostren els resultats de la classificació dels usos i cobertes del sòl en el municipi de Porrera per a tota la sèrie temporal analitzada.

Taula 3.6. Distribució dels usos del sòl (hectàrees i percentatge) en el municipi de Porrera del 1956, 1986, 1998, 2003 i 2006.

Classe	1956		1986		1998		2003		2005	
	(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)
1 Bosc dens	247,2	8,5	692,8	23,9	824,6	28,5	875,7	30,2	883,2	30,5
2 Bosc clar	529,7	18,3	643,9	22,2	924,0	31,9	854,2	29,5	868,7	30,0
3 Matoll	787,2	27,2	691,1	23,9	459,5	15,9	378,5	13,1	369,2	12,7
4 Cultius fruits secs	428,4	14,8	386,4	13,3	232,9	8,0	150,6	5,2	99,9	3,5
5 Cultius fruits secs abandonats	0,0	0,0	144,3	5,0	185,9	6,4	174,0	6,0	145,6	5,0
6 Vinya tradicional	850,4	29,4	255,9	8,8	95,0	3,3	106,8	3,7	117,0	4,0
7 Vinya aterassada	0,0	0,0	20,5	0,7	111,0	3,8	291,3	10,1	348,1	12,0
8 Usos urbans	12,8	0,4	20,7	0,7	24,0	0,8	24,9	0,9	25,8	0,9
9 Llera fluvial	37,6	1,3	37,1	1,3	35,6	1,2	36,9	1,3	36,9	1,3
10 Altres	0,6	0,0	3,2	0,1	3,4	0,1	3,1	0,1	2,3	0,1

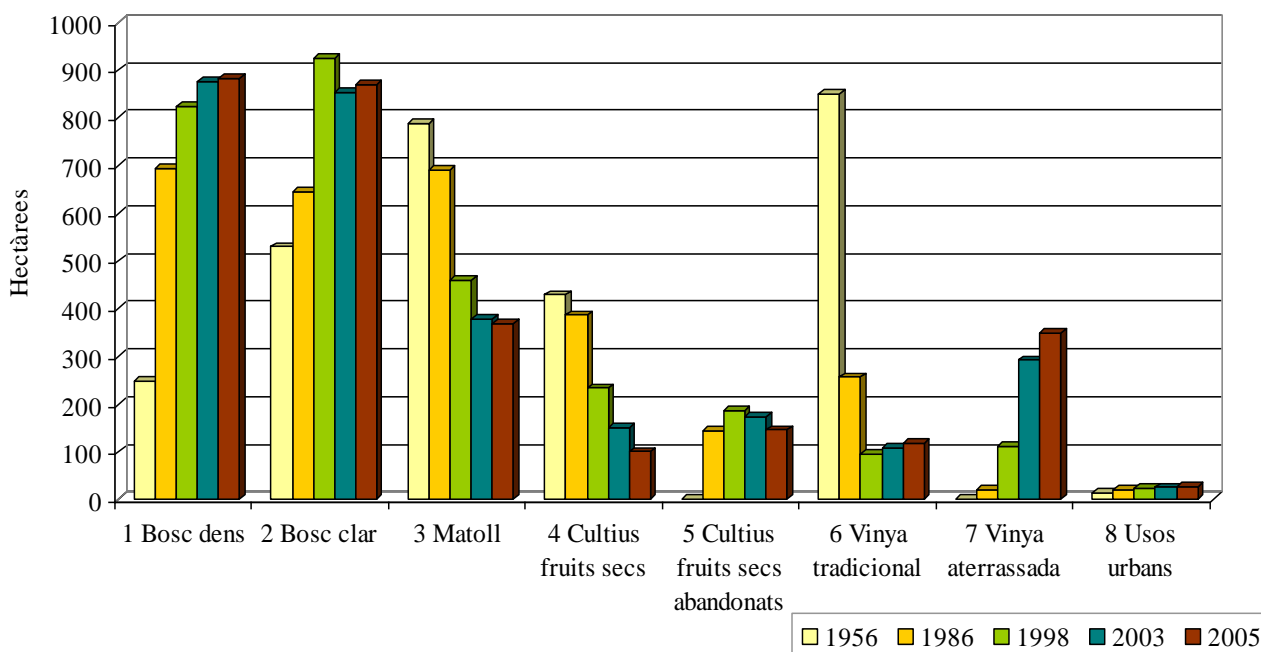


Figura 3.13. Distribució i evolució dels usos del sòl (hectàrees) en el municipi de Porrera l'any 1956, 1986, 1998, 2003 i 2005.

Conjuntament, es presenta la Taula 3.7 que inclou els valors del càlcul del **canvi absolut** (% i ha) i **net** (%) entre els períodes 1956-1986 (P1), 1986-1998 (P2), 1998-2005 (P3) i 1956-2005 (P13) així com les **taxes anual** de canvi (ha/any) i la **variació percentual de canvi** de les categories (%).

La combinació de l'índex de canvi absolut i net resulta interessant en l'estudi de les dinàmiques ja que dóna informació complementària i permet caracteritzar-ne millor els processos. Així, per exemple, en el cas del primer període analitzat (P1) la categoria classificada com a bosc clar, tot i que només augmenta un 15% del total del territori, suposa quasi triplicar la superfície de bosc dens perquè té un increment net del 180%.

Taula 3.7. Dinàmica de canvis de les categories d'usos del sòl en P1, P2 i P3 i P13. Inclou Canvi absolut (% i ha), Canvi net (%), taxa de canvi (ha/any) i percentatge de variació anual de la categoria.

Classe	P1: 1956 - 1986					P2: 1986 - 1998					P3: 1998 - 2005					P13: 1956 - 2005				
	Canvi absolut (%)	Canvi absolut (ha)	Canvi net (%)	Taxa (ha/any)	Canvi anual (%)	Canvi absolut (%)	Canvi absolut (ha)	Canvi net (%)	Taxa (ha/any)	Canvi anual (%)	Canvi absolut (%)	Canvi absolut (ha)	Canvi net (%)	Taxa (ha/any)	Canvi anual (%)	Canvi absolut (%)	Canvi absolut (ha)	Canvi net (%)	Taxa (ha/any)	Canvi anual (%)
1 Bosc dens	15,4	445,6	180,3	14,9	103,5	4,6	131,8	19,0	11,0	101,5	2,0	58,6	7,1	8,4	101,0	22,0	636,0	257,3	13,0	102,6
2 Bosc clar	3,9	114,2	21,6	3,8	100,7	9,7	280,1	43,5	23,3	103,1	-1,9	-55,3	-6,0	-7,9	99,1	11,7	339,1	64,0	6,9	101,0
3 Matoll	-3,3	-96,1	-12,2	-3,2	99,6	-8,0	-231,6	-33,5	-19,3	96,7	-3,1	-90,3	-19,7	-12,9	96,9	-14,4	-418,0	-53,1	-8,5	98,5
4 Cultius fruits secs	-1,4	-42,0	-9,8	-1,4	99,7	-5,3	-153,5	-39,7	-12,8	95,9	-4,6	-133,0	-57,1	-19,0	88,6	-11,3	-328,4	-76,7	-6,7	97,1
5 Cultius fruits secs abandonats	5,0	144,3	-	4,8	-	1,4	41,6	28,8	3,5	102,1	-1,4	-40,3	-21,7	-5,8	96,6	5,0	145,6	-	3,0	-
6 Vinya tradicional	-20,5	-594,5	-69,9	-19,8	96,1	-5,6	-160,9	-62,9	-13,4	92,1	0,8	22,0	23,1	3,1	103,0	-25,3	-733,4	-86,2	-15,0	96,0
7 Vinya aterassada	0,7	20,5	-	0,7	-	3,1	90,5	441,5	7,5	115,1	8,2	237,1	213,6	33,9	117,7	12,0	348,1	-	7,1	-
8 Usos urbans	0,3	7,9	61,8	0,3	101,6	0,1	3,3	15,9	0,3	101,2	0,1	1,8	7,3	0,3	101,0	0,4	13,0	101,2	0,3	101,4
9 Llera fluvial	0,0	-0,5	-1,4	0,0	100,0	-0,1	-1,5	-4,0	-0,1	99,7	0,0	1,3	3,6	0,2	100,5	0,0	-0,7	-1,9	0,0	100,0
10 Altres	0,1	2,6	401,0	0,1	105,5	0,0	0,2	6,2	0,0	100,5	0,0	-1,1	-32,9	-0,2	94,5	0,1	1,6	257,4	0,0	102,6
TOTAL				48,9					91,3					91,5					60,5	

Els resultats constaten que l'any 1956 la major part del territori era superfície agrícola (44% del total) amb la vinya com a cultiu predominant (30% del total de l'àrea d'estudi, 850 ha) i doblava la superfície de cultius de fruits secs (15% del total de l'àrea d'estudi, 428 ha). Seguia en importància la superfície de matoll, que ocupava un 27% de l'àrea d'estudi (787 ha) i el bosc (27% del total de superfície, 777 ha). Als anys 50 no es detecten ni cultius de fruits secs abandonats ni vinya aterassada.

Aquesta configuració canvia dràsticament en analitzar els usos 30 anys després, l'any 1986, en què destaca una configuració d'usos més homogènia, amb predomini dels usos forestals (bosc i matoll) enfront dels cultius agrícoles. La superfície forestal ocupava un 46% (1.337 ha) de la superfície total i el matoll un 16% (460 ha). La superfície agrícola només representava el 22% (642 ha) però es detecta un canvi d'usos agrícoles. Els cultius de fruits secs passen a ser el cultiu majoritari (13% del territori, 386 ha), principalment avellaners, enfront de la vinya. Aquest any apareixen nous usos no presents l'any 1956 que són la vinya aterassada i els cultius de fruits secs abandonats. Mentre que el primer ús ocupava una superfície marginal (1% del total del territori, 21 ha) els cultius de fruits secs abandonats ocupaven una superfície considerable i igual al 5% del total de l'àrea d'estudi (144 ha).

L'any 1998 la superfície forestal passa a ser la predominant (75% del total de l'àrea d'estudi, 2.208 ha), mentre que disminueixen notablement els usos tradicionals agrícoles, cultius llenyosos i les vinyes tradicionals, fins ocupar un 8% (233 ha) i un 3% (95 ha) respectivament. Per contra, aquest any passa a tenir major importància la superfície de vinya aterassada, que s'incrementa fins arribar a ocupar un 4% de l'àrea d'estudi (111 ha). Aquesta passa a ocupar major superfície que la vinya tradicional (3% de l'àrea d'estudi amb 95 ha). Els cultius de fruits secs abandonats van incrementar la seva superfície, fins a representar el 6% de l'àrea d'estudi.

L'any 2005 la superfície forestal continuava essent predominant (73% del total de l'àrea d'estudi, 2.121 ha), però a diferència de l'any 1998, els cultius agrícoles van incrementar la seva importància, fins a un 20% de l'àrea d'estudi. S'observa una especialització de la vinya aterassada (12% de l'àrea d'estudi, 348 ha), en detriment dels usos tradicionals, especialment dels cultius de fruits secs (4% de l'àrea d'estudi, 100 ha). Pel que fa als cultius de fruits secs abandonats, tot i que disminueix la superfície respecte el 1998 (5% del total de l'àrea d'estudi, 146 ha), cal destacar que aquests ocupen molta més superfície que la dels cultius de fruits secs (146 ha respecte 100 ha).

Pel que fa a l'evolució de les àrees urbanes al llarg dels 50 anys analitzats, cal dir que presenten un augment percentual encara que menyspreable en valor absoluts (de 0,7 a 0,9 hectàrees), influenciat per la millora en les infraestructures lineals (carreteres i camins principals), i l'augment d'edificacions. Per altra banda, les zones classificades com a erm i llera fluvial es mantenen estables (0,1% i 1,3%, respectivament).

En relació a les **evolucions i dinàmiques de cada categoria**, l'anàlisi posa de rellevància:

- El cultiu de la **vinya** és l'ús agrícola per excel·lència, el que presenta més canvis en els darrers 50 anys a Porrera, seguint unes dinàmiques diferenciades i contrastades segons el període analitzat. Del 1956 al 1986 hi ha una important regressió del cultiu de la vinya que arriba a perdre 600 ha (més de la meitat de la superfície), i passa de representar el 30% del territori a menys del 10% a una velocitat de regressió de 20 ha/any. Aquesta regressió es continua donant fins a l'any 1998 tot i que a menor velocitat (13 ha/any) fins a arribar a tenir

una ocupació marginal. Contràriament, des del 1998 al 2005, la superfície de vinya es va incrementant molt ràpidament, a una velocitat de 40 ha/any, fins a arribar a representar el 16% del territori. Tanmateix, tot i que la superfície del 2005 és major que la del 1986, representa la meitat de la que ocupava l'any 1956 (385 ha menys respecte les 850 ha totals que tenia l'any 1956, és a dir, s'ha reduït un 55% la superfície).

- La **vinya tradicional** era l'únic tipus de vinya existent fins a l'any 1986, i és el que ha experimentat majors canvis al llarg dels darrers 50 anys. L'any 1956 era l'ús predominant al territori que amb 850 ha ocupava el 30% de Porrera. La regressió d'aquest cultiu s'ha observat fins al 1998, moment en què la vinya tradicional es podia qualificar com a inexistent, ja que sols ocupava un 3%. Aquesta regressió es va donar a una velocitat força elevada, de 20 ha/any i 13 ha/any en el període 1956-1986 i 1986-1998, respectivament. En el període 1998-2005 té lloc una lleugera recuperació de la vinya tradicional (increment del 23%), que es concentra principalment en el període 2003-2005. Si s'analitza el període global dels darrers 50 anys (1956-2005) la vinya tradicional és l'ús que ha perdut major superfície a l'àrea d'estudi (755 ha): s'ha reduït en un 86%, passant de representar el 30% de la superfície de Porrera a ocupar tan sols el 4% l'any 2005, tot i la lleugera recuperació experimentada en el darrer període.
- La **vinya aterassada** és un tipus de maneig que comença a identificar-se a partir de l'any 1986, tot i que l'extensió que ocupa en aquesta data és insignificant (21 ha, 0,7% de l'àrea d'estudi). Ara bé, del 1986 al 1998 la seva superfície es multiplica per 4, s'incrementa en 90 ha, i del 1998 al 2005 s'incrementa en 237 ha més, de manera que arriba a ocupar el 12% del territori, amb un total de 348 ha. Aquest és l'ús del sòl que presenta una taxa de transformació més elevada durant els darrers 50 anys a Porrera, i que és igual a 34 ha/any en el període 1998-2005. Es pot dir que aquesta elevada intensitat de transformació fa que sigui el procés de canvi amb major impacte sobre el territori.
- Els **cultius de fruits secs** també experimenten canvis importants. L'any 1956 ocupaven el 15% de l'àrea d'estudi amb 428 ha. Del 1956 al 1986 experimenten una lleugera disminució en 42 ha. Del 1986 al 1998 la superfície de cultius de fruits secs continua disminuint a una taxa elevada i igual a 12 ha/any, el que implica la pèrdua del 40% de la superfície destinada a cultius de fruits secs. Aquesta regressió s'accelera en el període 1998-2005 en què la taxa de regressió passa a ser de 19 ha/any i s'arriba a perdre un 57% de la superfície del 1998 (més de la meitat de la superfície que ocupava el 1998), amb la qual cosa esdevé un cultiu marginal amb un 4% de l'àrea d'estudi.
- Els **cultius de fruits secs abandonats** no s'identifiquen fins a l'anàlisi de l'any 1986. Del 1986 al 1998 es detecta un increment d'aquesta classe, possiblement afavorit per la regressió dels cultius de fruits secs, a una intensitat de 3,5 ha/any. Del 1998 al 2005 perd el 20% de la seva superfície (40 ha) fins a ocupar la mateixa superfície que l'any 1986 i igual a 147 ha. Aquesta disminució de superfície del segon període pot ser atribuïda a la naturalesa transitòria de la categoria davant la pròpia successió natural i la disminució d'àrees potencials a ser abandonades.
- La superfície de **bosc** té el major increment del 1956 al 1986, quan la superfície total forestal es duplica, fins a ocupar un 20% més de l'àrea d'estudi, amb una taxa de creixement de 20 ha/any. Del 1986 al 1998 continua creixent però a menor velocitat (11 ha/any). En el darrer període, 1998-2005, es manté estable.

Pel que fa a la tipologia de boscos, del 1956 al 1986 creix majoritàriament la classe **bosc dens**, mentre que del 1986 al 1998 creix més proporcionalment la superfície de la classe **bosc clar** (que creix un 43% mentre el bosc dens ho fa sols en un 19%). Si es mira el canvi global del 1956 al 2005 s'observa clarament que la superfície de bosc s'incrementa molt des del 1956 (636 ha, un increment del 257% del bosc dens), es triplica i arriba a guanyar un 30% del total del territori.

Tanmateix, la dinàmica de canvi entre el **bosc dens** i **clar** és diferent i fins i tot oposada. Mentre que del 1956 al 1986 el bosc dens creix molt més que el bosc clar (15% i 4% del total respectivament), del 1986 al 1998 creix més la de bosc clar. Del 1998 al 2005, mentre creix poc el bosc dens el bosc clar perd superfície, en un total de 55 ha, el que suposa una pèrdua de 8 ha/any de bosc clar.

- La classe **matoll** experimenta un descens de la superfície en tots els períodes però a diferent velocitat. Així, del 1956 al 1986 es perdia una superfície de 3 ha/any de matoll, del 1986 al 1998 el descens era molt superior i igual a 19 ha/any, mentre que del 1998 al 2005 era de 12,9 ha/any.
- Els altres usos del territori, **usos urbans, llera fluvial i altres**, no presenten canvis substancials, a part dels usos urbans que augmenten en un 16,4% la superfície en el primer període per una millora de les infraestructures.

Els resultats obtinguts han estat comparats amb les estadístiques disponibles del *Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación* i del *cadastre de rústica del Terme municipal de Porrera de 2003* (Taula 3.8).

Taula 3.8. Resum de les estadístiques proporcionades pel MAPA (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación), del cadastre de rústica de 2003 i les elaborades a partir de la cartografia resultat de la fotointerpretació.

<i>Porrera</i>		<i>Bosc</i>	<i>Matoll</i>	<i>Vinya</i>	<i>Altres cultius</i>	<i>Altres usos</i>
<i>1986</i>	MAPA	889	37	982	862	84
	CARTOGRAFIA	1.337	691	276	531	61
<i>1998</i>	MAPA	889	1.021	300	570	100
	CARTOGRAFIA	1.749	460	206	419	63
<i>2002</i>	MAPA	889	1.152	290	449	100
<i>2003</i>	CADASTRE	1927	258	322	229	125
	CARTOGRAFIA	1730	379	398	325	65

La classificació dels usos considerats ha estat adaptada en ambdós casos per tal de poder realitzar les comparacions pertinents. Font: MAPA (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación), Cadastre (Cadastre de Rústica de 2003 de Porrera) i Cartografia (elaboració pròpia a partir de la fotointerpretació).

La comparació mostra diferències notables entre les dades obtingudes i les proporcionades a partir de les estadístiques agràries, i s'observa la discrepància de les dades procedents de fonts diverses dins la mateixa administració. Aquest fet també és observat per altres autors (Margalef i Tasia, 1986; Serra, 2002), que qüestionen la qualitat de les dades que només són modificades previ avís per part del propietari, fet que queda reflectit en la gran quantitat d'hectàrees que encara es consideren cultiu. Aquest fet demostra la inviabilitat de la utilització de certes estadístiques, en funció de la finalitat dels estudis. Tanmateix, les dades del cadastre de rústica

mostren una major aproximació a les de la fotointerpretació, ja que aquestes solen acompanyar-se d'un exhaustiu seguit d'enquestes i d'un suport de treball de camp.

Les taxes de canvi de cada període són valors estimats i mitjans considerats a partir d'una evolució estocàstica entre períodes. Aquest fet es detecta en el cas dels aterracaments, els quals s'inicien a partir de 1990 (inici del ressorgiment de la vinya al Priorat). Per tant, el càlcul de les taxes pot amagar o esbiaixar tendències en el territori entre les imatges analitzades, però permet obtenir un valor sobre els canvis reals a nivell de períodes. Per aquest motiu, és molt important determinar en aquest tipus d'estudis quins són els períodes en els quals s'està treballant i combinar la amb informació obtinguda amb altres dades del territori.

A més, l'anàlisi d'evolucions de les superfícies pot emascarar canvis en el territori quan l'àrea total es conserva.

3.3.4.2. Successió espaciotemporal dels usos i cobertes del sòl

Les determinacions anteriors permeten saber quina és l'evolució de cada categoria, la magnitud i la velocitat de transformació. Tanmateix, per poder identificar clarament els processos que tenen lloc al territori i la seva magnitud cal modelitzar les successions entre categories.

La successió entre categories es calcula a partir de les matrius de transició (de la *Taula 3.10* a la *3.13*) i els mapes de canvi. A més l'índex *Kappa* (*Taula 3.9*) dóna una magnitud de canvi.

Taula 3.9. Valors de l'índex Kappa en la comparació dels mapes entre períodes: 1956-1986 (P1), 1986-1998 (P2), 1998-2005 (P3) i 1956-2005 (P13).

	<i>P1: 1956-1986</i>	<i>P2: 1986-1998</i>	<i>P3: 1998-2005</i>	<i>P13: 1956-2005</i>
<i>Kappa Global</i>	0,27	0,46	0,66	0,13
<i>Kappa per Categories</i>				
<i>1 Bosc dens</i>	0,69	0,74	0,83	0,71
<i>2 Bosc clar</i>	0,26	0,52	0,67	0,10
<i>3 Matoll</i>	0,16	0,33	0,61	0,05
<i>4 Cultius fruits secs</i>	0,41	0,39	0,29	0,07
<i>5 Cultius fruits secs abandonats</i>	-	0,18	0,29	-
<i>6 Vinya tradicional</i>	0,16	0,32	0,84	0,07
<i>7 Vinya aterracada</i>	-	0,46	0,95	-
<i>8 Usos urbans</i>	0,80	0,77	0,95	0,74
<i>9 Llera fluvial</i>	0,89	0,90	0,95	0,86
<i>10 Altres</i>	0,96	0,48	0,40	0,26

L'índex *Kappa* determina un valor de proporció de canvi entre imatges, a partir de la variació en la localització dels usos. Aquests permeten establir que els cultius de fruits secs abandonats i la vinya tradicional són els usos que presenten una major diferenciació espacial; així, tot i que la superfície total de cultius abandonats no variï, ens confirma que sí que existeix una dinàmica espacial ja que hi ha un canvi en la localització d'aquest cultiu.

El valor de kappa més baix és per a P1 i entre les imatges sols hi ha una moderada concordança. Per al P2 i P3, les imatges presenten una major concordança, però cal tenir en compte que entre aquestes dates existeix un període temporal menor. Tot i així, la correlació entre mapes continua sent moderada.

Les matrius de transició han estat expressades per al període 1956-1986 (P1), 1986-1998 (P2), 1998-2005 (P3) i 1956-2005 (P13) (Taula 3.10, Taula 3.11, Taula 3.12 i Taula 3.13). La nomenclatura utilitzada per a les categories es correspon: 1 BD (Bosc dens); 2 BC (Bosc clar); 3 M (Matoll); 4 CFS (Cultius de fruits secs); 5 CFSA (Cultius de fruits secs abandonats); 6 VT (Vinya tradicional); 7 VA (Vinya aterassada); 8 UU (Usos urbans); 9 LIF (Llera fluvial); 10 A (Altres).

Taula 3.10. Matriu de transició d'usos i cobertes del sòl (ha totals) en el període 1956-1986 (P1) i valors dels índexs Kappa.

1956 \ 1986	1 BD	2 BC	3 M	4 CFS	5 CFSA	6 VT	7 VA	8 UU	9 LIF	10 A	Total 1956
1 BD	189,3	36,3	10,3	2,3	3,9	3,0	0,4	0,2	1,1	0,4	247,1
2 BC	259,0	222,8	28,8	6,7	5,1	5,1	0,0	0,5	0,2	1,5	529,6
3 M	153,9	261,3	284,8	28,8	18,1	31,5	3,3	4,6	0,4	0,4	787,2
4 CFS	42,0	32,0	47,3	210,3	76,4	14,7	2,2	2,1	1,1	0,2	428,4
5 CFSA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0
6 VT	45,8	89,4	317,6	137,9	40,1	201,6	14,5	2,9	0,7	0,0	850,4
7 VA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0
8 UU	0,4	0,4	1,0	0,3	0,1	0,1	0,0	10,2	0,2	0,0	12,8
9 LIF	1,6	1,3	0,8	0,2	0,1	0,0	0,0	0,2	33,4	0,0	37,6
10 A	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	0,6
Total 1986	692,0	643,5	690,5	386,4	143,9	255,9	20,5	20,7	37,1	3,2	
<i>Kappa per categories</i>	0,69	0,26	0,16	0,41	-	0,16	-	0,80	0,89	0,96	
<i>Kappa Global</i>	0,27										

Taula 3.11. Matriu de transició d'usos i cobertes del sòl (ha totals) en el període 1986-1998 (P2) i valors dels índexs Kappa.

Taula 3.12.

1986 \ 1998	1 BD	2 BC	3 M	4 CFS	5 CFSA	6 VT	7 VA	8 UU	9 LIF	10 A	Total 1986
1 BD	564,2	99,0	13,0	4,0	8,4	0,3	2,6	0,8	0,2	0,2	692,8
2 BC	179,7	432,7	18,8	2,7	3,4	0,6	3,7	1,1	1,0	0,2	643,9
3 M	40,9	275,0	299,7	11,0	15,7	2,3	42,0	2,7	0,8	0,9	691,1
4 CFS	9,4	27,8	32,5	168,2	107,6	2,6	36,5	1,5	0,1	0,4	386,5
5 CFSA	19,9	35,3	24,4	27,7	33,0	1,1	2,7	0,1	0,0	0,0	144,3
6 VT	8,0	50,4	63,6	15,7	16,2	86,9	13,5	1,5	0,0	0,0	255,9
7 VA	0,1	2,0	4,1	2,4	1,2	1,0	9,7	0,0	0,0	0,0	20,5
8 UU	0,5	1,0	1,8	0,9	0,2	0,1	0,1	15,9	0,1	0,1	20,7
9 LIF	0,9	0,7	1,2	0,3	0,1	0,0	0,0	0,2	33,5	0,1	37,1
10 A	0,8	0,1	0,5	0,0	0,0	0,0	0,2	0,1	0,0	1,5	3,2
Total 1998	824,6	923,9	459,5	232,9	185,9	95,0	111,1	24,0	35,6	3,3	1.602,7
<i>Kappa per categories</i>	0,74	0,52	0,33	0,39	0,18	0,32	0,46	0,77	0,90	0,48	
<i>Kappa Global</i>	0,46										

Taula 3.13. Matriu de transició d'usos i cobertes del sòl (ha totals) en el període 1998-2005 (P3) i valors dels índexs Kappa.

1998 \ 2005	1 BD	2 BC	3 M	4 CFS	5 CFSA	6 VT	7 VA	8 UU	9 LIF	10 A	Total 1998
1 BD	724,5	54,6	5,9	2,3	0,9	1,6	34,1	0,2	0,4	0,1	824,6
2 BC	143,1	709,5	17,3	0,6	2,1	3,4	46,5	0,2	0,8	0,3	923,9
3 M	2,8	48,6	301,6	0,7	7,2	12,8	83,4	1,0	1,1	0,5	459,5
4 CFS	6,6	13,6	12,9	72,4	72,4	11,6	42,5	0,4	0,4	0,0	232,9
5 CFSA	5,9	40,4	23,0	21,6	60,7	6,4	27,7	0,1	0,1	0,0	185,9
6 VT	0,1	0,4	5,4	0,0	2,3	80,1	6,2	0,4	0,0	0,0	95,0
7 VA	0,3	0,1	1,5	1,9	0,0	0,8	106,4	0,0	0,0	0,0	111,1
8 UU	0,1	0,2	0,2	0,4	0,0	0,2	0,0	22,9	0,0	0,0	24,0
9 LIF	0,0	0,9	0,2	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	33,9	0,0	35,6
10 A	0,0	0,2	0,7	0,1	0,0	0,1	0,6	0,3	0,0	1,3	3,3
Total 2005	883,2	868,4	368,7	99,9	145,6	117,0	348,1	25,7	36,9	2,3	1.946,4
<i>Kappa per categories</i>	0,83	0,67	0,61	0,29	0,29	0,84	0,95	0,95	0,95	0,40	
<i>Kappa Global</i>	0,66										

Taula 3.14. Matriu de transició d'usos i cobertes del sòl (ha totals) en el període 1956-2005 (P13) i valors dels índexs Kappa.

1956 \ 2005	1 BD	2 BC	3 M	4 CFS	5 CFSA	6 VT	7 VA	8 UU	9 LIF	10 A	Total 1956
1 BD	196,5	35,0	3,7	0,6	1,5	0,9	6,9	0,6	1,0	0,5	247,1
2 BC	304,4	195,7	10,2	1,7	5,1	1,4	8,9	0,7	0,2	1,4	529,6
3 M	224,4	309,0	135,7	9,0	14,2	13,5	75,5	5,1	0,5	0,2	787,2
4 CFS	58,0	96,8	52,9	43,8	75,3	11,7	84,9	3,3	1,7	0,0	428,4
5 CFSA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0
6 VT	96,8	228,1	164,3	44,3	49,5	89,4	171,1	6,0	0,9	0,0	850,4
7 VA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0
8 UU	0,5	0,7	0,9	0,3	0,1	0,1	0,4	9,5	0,4	0,0	12,8
9 LIF	1,3	2,2	0,9	0,1	0,0	0,1	0,4	0,3	32,3	0,0	37,6
10 A	0,3	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,6
Total 2005	882,2	867,5	368,7	99,9	145,6	117,0	348,1	25,7	36,9	2,3	703,0
<i>Kappa per categories</i>	0,71	0,10	0,05	0,07	-	0,07	-	0,74	0,86	0,26	
<i>Kappa Global</i>	0,13										

L'anàlisi de la matriu de transició permet establir:

Del **1956 al 1986 un 60% de la superfície del terme municipal varia d'ús**, a una taxa de transformació de 58 ha/any (2% de l'àrea d'estudi cada any):

- A nivell d'usos agrícoles el principal canvi entre categories s'ha donat per la transformació del cultiu de vinya tradicional a matoll (318 ha) i bosc (135 ha). Aquests valors confirmen el procés d'abandonament de la vinya tradicional. Així, **del 1956 al 1986 s'abandona el 53% de la vinya tradicional** a una taxa estimada de 15 ha/any.
- També es detecta un **canvi d'ús agrícola amb la transformació de la vinya tradicional a cultius de fruits secs**. A aquest valor cal sumar-hi la superfície que s'ha transformat a cultius de fruits secs abandonats perquè prèviament haurien estat cultius de fruits secs (180 ha). Així doncs, **el 21% de la vinya tradicional s'hauria canviat a aquest ús** amb una taxa de 6 ha/any.

- A l'abandonament de la vinya també cal sumar-hi l'**abandonament dels cultius de fruits secs** per la seva successió a bosc (74 ha), matoll (47 ha) i cultiu de fruits secs abandonats (76 ha). Això representa que s'hauria abandonat el 46% dels cultius de fruits secs presents l'any 1956 a una taxa mitjana de 9 ha/any.
- Els processos de major magnitud en quantitat de superfície són els de la **successió entre classes forestals** de matoll a bosc clar i bosc dens (415 ha, 53% del matoll del 1956) i de bosc clar a bosc dens (259 ha, 49% del bosc clar del 1956). L'augment d'aquestes classes en el període d'estudi estaria relacionada amb l'important abandonament d'usos agrícoles durant la segona meitat del segle XX (Lasanta-Martínez et al., 2005; Serrat et al., 2008; Renwick et al., 2013). Això confirmaria que gairebé tot el territori hauria estat ocupat per vinya a principis del segle XX menys el que l'any 1956 ja era bosc dens (189 ha aprox. 6,5%).

Del **1986 al 1998** hi ha una variació del 45% de l'àrea d'estudi, a una taxa de transformació de 108 ha/any (4% de l'àrea d'estudi cada any), intensitat molt superior a la del període P1:

- Els processos de major magnitud continuen sent els de **successió entre classes forestals** de matoll a bosc clar i bosc dens (316 ha, 46% del matoll del 1986) i de bosc clar a bosc dens (180 ha, 28% del bosc clar del 1986), fruit d'un procés d'abandonament agrícola.
- A nivell d'usos agrícoles, el principal canvi continua sent la transformació de cultius de fruits secs a cultius de fruits secs abandonats (108 ha), matoll (33 ha) i bosc (37 ha), la qual cosa significa un **abandonament del 42% de la superfície dels cultius de fruits secs**. Tanmateix els cultius de fruits secs abandonats segueixen la seva dinàmica i es transformen a altres usos forestals com el matoll (24 ha) i el bosc.
- El descens del cultiu de vinya tradicional té lloc principalment pel seu pas a matoll (64 ha) i bosc (58 ha), el que confirma una continuïtat del procés d'**abandonament de la vinya tradicional**. Del 1986 al 1998 s'hauria **abandonat el 48% de la superfície de vinya tradicional** a una taxa estimada de 10 ha/any, inferior a la del període 1956-1986.
- En aquest període també es detecta un increment de la vinya aterassada en detriment de zones de matoll (42 ha), cultius de fruits secs (40 ha) i vinyes tradicionals (14 ha). Així, un 41% de la superfície de nova vinya aterassada es dona pel **canvi d'ús forestal a agrícola** (procedent de matoll) mentre que un 36% es dona pel **canvi d'ús agrícola** i un 14% pel **canvi de maneig, intensificació agrícola**.

Del **1998 al 2005** hi ha una variació del 33% de l'àrea d'estudi, amb una taxa de transformació de 136 ha/any (5% de l'àrea d'estudi cada any), intensitat molt superior a la del període P1 i P2:

- El procés de major magnitud és la **conversió a vinya aterassada**. Els principals usos que s'hi transformen són els forestals (matoll: 84 ha, boscos: 82 ha), que representen el 68% de la nova vinya aterassada. Això explica que principalment hi ha un **canvi d'ús forestal a agrícola**. També hi ha una **transformació de cultius** de fruits secs (43 ha), que representen un 18% de la nova vinya aterassada i cultius de fruits secs abandonats (28 ha). També part de la vinya tradicional canvia de maneig i esdevé vinya aterassada però en quantitats marginals (6 ha).

- La tendència històrica de la **vinya tradicional** s'inverteix en el darrer període. El principal **increment d'aquest ús** es dona pel pas de matoll (13 ha, 35% de la vinya tradicional recuperada) i cultius de fruita seca (12 ha, 33% de la vinya tradicional recuperada) i abandonats (6 ha, 16% de la vinya tradicional recuperada). Així es trenca la dinàmica d'abandonament de la vinya tradicional històrica i s'inicia la **recuperació de la vinya tradicional**. Les taxes de creació de noves vinyes tradicionals són inferiors, però, a les taxes d'abandonament.
- Es continuen transformant els cultius de fruits secs a cultius de fruits secs abandonats (72 ha) i a boscos (20 ha) i matoll (13 ha). Del 1998 al 2005 es va **abandonar el 45% de superfície de fruits secs** a una taxa estimada de 15 ha/any, igual a la del període 1986-1998, i el **23% dels cultius de fruits secs s'haurien canviat d'ús** a vinya aterassada i tradicional. Els cultius de fruits secs segueixen la seva dinàmica natural arran de l'abandonament cap a boscos (46 ha) i matoll (23 ha).
- Continuen els processos de **successió entre classes forestals** de matoll a bosc clar i bosc dens (51 ha, 11% del matoll del 1998) i de bosc clar a bosc dens (143 ha, 16% del bosc clar del 1998). També es detecta el pas de 55 ha de bosc dens a bosc clar (7% del bosc dens de 1998). Aquest procés no es pot atribuir als errors de la fotinterpretació donada la diferència de qualitat entre les imatges.

L'anàlisi del període **1956-2005 ens diu que en els darrers 50 anys s'ha transformat un 76%** de l'àrea d'estudi, amb una taxa de transformació de 45 ha/any (2% de l'àrea d'estudi cada any):

- A nivell d'usos agrícoles el principal canvi té lloc per la transformació del cultiu de vinya tradicional a bosc (325 ha) i matoll (164 ha). Aquests valors confirmen el procés d'abandonament de la vinya tradicional. Així del 1956 al 2005 **s'abandona el 58% de la vinya tradicional** amb una taxa estimada de 10 ha/any.
- També es detecta un abandonament de cultius de fruits secs per la seva successió a bosc (155 ha), matoll (53 ha) i cultiu de fruits secs abandonats (75 ha). Això ens diu que **s'ha abandonat el 66% dels cultius de fruits secs present el 1956** amb una taxa de 6 ha/any.
- Es detecta un **canvi d'ús agrícola amb la transformació de la vinya tradicional a la vinya aterassada** (171 ha) i **cultius de fruits secs** (50 ha). A aquest valor cal sumar-hi les classificades el 2005 com a cultius de fruits secs abandonats perquè prèviament haurien estat cultius de fruits secs (44 ha). Així doncs, de la vinya tradicional existent l'any 1956, el 21% es transforma a vinya aterassada i el 6% dels cultius de fruits secs.
- El canvi d'ús també té lloc per la transformació de cultius de fruits secs a vinya aterassada (85 ha) i a vinya tradicional (12 ha). Aquest canvi d'ús afecta un 20% dels cultius de fruits secs del 1956.
- Destaca l'**increment de vinya aterassada**. Un 49% d'aquest nou ús havia estat vinya tradicional el 1956, un 26% ús forestal, i un 24% de cultius de fruits secs.
- A nivell forestal destaca la magnitud dels processos de **successió entre classes forestals** de matoll a bosc clar i bosc dens (533 ha, 68% del matoll del 1956) i de bosc clar a bosc dens (304 ha, 58% del bosc clar del 1986), fruit d'un procés d'abandonament agrícola.

L'anàlisi de les successions multitemporals dels usos i cobertes del sòl (1956-1986-1998-2005) permet conèixer quines han estat les successions d'usos al llarg dels darrers 50 anys i la magnitud d'aquestes. Davant l'elevat nombre de combinacions possibles (4^{10}) només s'han presentat les de major magnitud (> 5 ha) i les que presenten canvis significatius per a l'estudi (*Taula 3.14*).

Taula 3.14. Matriu de transició observada dels canvis d'usos del sòl entre el 1956-1986-1998 i 2005.

			2005						
1956	1986	1998	1.BD	2.BC	3.M	4.CFS	5.CFSA	6.VT	7.VA
1.BD	1.BD	1.BD	174,4	2,4	1,5	0,2	0,0	0,0	2,3
2.BC	1.BD	1.BD	207,0	3,8	1,2	0,0	0,0	0,0	3,6
2.BC	2.BC	2.BC	22,9	136,0	1,4	0,0	0,0	0,0	1,8
3.M	1.BD	1.BD	116,2	2,9	0,3	0,0	0,0	0,0	6,5
3.M	2.BC	1.BD	50,9	11,6	1,4	0,0	0,0	0,1	4,0
3.M	2.BC	2.BC	26,6	147,9	0,8	0,0	0,0	0,0	8,8
3.M	3.M	1.BD	7,9	1,5	0,5	0,0	0,0	0,2	1,4
3.M	3.M	2.BC	4,5	108,8	5,4	0,1	0,0	0,0	5,8
3.M	3.M	3.M	0,6	8,6	111,6	0,0	1,2	0,8	20,0
3.M	3.M	7.VA	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	11,0
3.M	4.CFS	4.CFS	0,0	0,9	0,8	3,8	4,0	0,1	2,6
3.M	6.VT	6.VT	0,0	0,0	1,9	0,0	0,3	8,3	0,1
4.CFS	1.BD	1.BD	20,2	1,4	0,3	0,0	0,1	0,3	0,5
4.CFS	3.M	2.BC	0,2	10,8	0,1	0,0	0,0	0,0	1,6
4.CFS	3.M	3.M	0,0	1,9	11,0	0,0	0,9	0,1	2,2
4.CFS	4.CFS	2.BC	3,4	9,6	0,4	0,0	1,1	0,0	1,9
4.CFS	4.CFS	3.M	0,1	4,9	7,1	0,2	0,3	0,1	3,8
4.CFS	4.CFS	4.CFS	1,7	5,0	6,2	34,4	33,4	4,2	17,6
4.CFS	4.CFS	5.CFSA	1,1	11,3	7,5	1,0	22,3	0,9	13,5
4.CFS	4.CFS	7.VA	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	24,6
4.CFS	5.CFSA	1.BD	6,1	0,6	0,1	1,0	0,1	0,1	1,3
4.CFS	5.CFSA	3.M	0,0	3,8	5,0	0,0	0,4	0,0	1,3
4.CFS	5.CFSA	4.CFS	0,4	0,3	0,4	1,0	2,0	0,2	2,6
4.CFS	5.CFSA	7.VA	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,2	1,6
6.VT	1.BD	1.BD	28,9	0,7	0,1	0,0	0,0	0,0	1,5
6.VT	2.BC	1.BD	18,7	5,7	0,3	0,1	0,0	0,0	2,7
6.VT	2.BC	2.BC	6,1	46,1	0,2	0,0	0,1	1,4	2,0
6.VT	3.M	1.BD	15,8	2,3	0,0	0,0	0,0	0,6	1,2
6.VT	3.M	2.BC	6,0	91,8	3,4	0,0	0,2	0,0	13,1
6.VT	3.M	3.M	0,0	14,3	96,8	0,0	0,9	2,0	30,3
6.VT	3.M	7.VA	0,0	0,0	1,0	0,6	0,0	0,0	26,4
6.VT	4.CFS	1.BD	0,9	0,5	0,0	0,0	0,1	0,0	1,2
6.VT	4.CFS	2.BC	1,4	4,0	0,1	0,0	0,5	0,1	1,0
6.VT	4.CFS	3.M	0,0	2,6	4,5	0,0	0,3	0,6	2,8
6.VT	4.CFS	4.CFS	0,7	4,2	1,7	30,8	23,5	2,6	13,7
6.VT	4.CFS	5.CFSA	0,2	8,0	2,5	1,0	12,7	0,4	8,4
6.VT	4.CFS	7.VA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,2
6.VT	5.CFSA	3.M	0,1	0,4	5,2	0,0	0,1	0,0	1,7
6.VT	6.VT	2.BC	1,2	28,8	2,0	0,0	0,0	1,2	4,9
6.VT	6.VT	3.M	0,0	1,7	31,0	0,0	0,1	8,4	13,3
6.VT	6.VT	4.CFS	0,1	0,4	1,1	3,6	1,3	2,7	2,5
6.VT	6.VT	5.CFSA	0,0	0,6	2,6	2,0	1,6	2,9	1,6
6.VT	6.VT	6.VT	0,0	0,3	3,0	0,0	1,0	65,7	4,6
6.VT	6.VT	7.VA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	12,2
6.VT	7.VA	7.VA	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	6,6

	Vinya tradicional (1956/1986/1998); forestal (1986/1998/2005)
	Fruits secs (1956/1986/1998); fruits secs abandonats (1986/1998/2005); forestal (1986/1998/2005)
	Vinya tradicional (1956); cultius fruits secs (1986/1998); forestal o fruits secs abandonats (1998/2005)
	Vinya tradicional (1956/1986); fruits secs (1986/1998); vinya abançalada (1998/2005)
	Vinya tradicional (1956/1986); vinya abançalada (1986/1998/2005)
	Fruits secs (1956/1986/1998); vinya abançalada (1998/2005)
	Vinya tradicional (1956/1986); fruits secs (1998/2005)
	Conreu (1956/1986); forestal o fruits secs abandonats(1986/1998);vinya abançalada (2005)
	Vinya tradicional (1956); forestal (1986); vinya aterassada (1998/2005)
	Forestal (1956/1986/1998); vinya abançalada (1986/1998/2005)

La matriu generada a partir del creuament de mapes dels anys 1956-1986-1998 i 2005 (*Taula 3.14*) permet mostrar quina ha estat l'evolució d'una mateixa parcel·la al llarg dels anys i, per tant, permet enregistrar en una mateixa taula tots els canvis que hi tenen lloc:

- Només el **8% del terme municipal de Porrera** (216 ha) **s'ha mantingut cultivat al llarg dels darrers 50 anys**. D'aquestes 216 ha, només s'han conservat 66 ha de vinya tradicional des de l'any 1956 fins a l'actualitat (2% del terme municipal), mentre que només s'han mantingut 21 ha de cultiu de fruits secs (1% del terme municipal). La resta de superfície ha anat variant de cultiu segons les següents successions:
 - ➔ Vinya tradicional (1956); fruits secs (1986/1998); vinya abancalada (2005). Un 2,7% del territori (75 ha). Per tant podem parlar que aquest ha estat **el major procés de successió que han seguit els agricultors que han conservat els cultius**.
 - ➔ Vinya tradicional (1956); vinya abancalada (1986/1998/2005). Un 0,08% del territori (23,4 ha).
- Per contra, el **25% del terme municipal ha patit un procés d'abandonament** sense recuperació del cultiu des de l'any 1956 (722 ha), i s'han classificat com a usos forestals o bé cultiu de fruits secs abandonats. D'aquests:
 - ➔ Vinya tradicional (1956/1986/1998); forestal (1986/1998/2005). S'ha comptabilitzat l'abandonament de 406 ha de vinya tradicional des del 1956 al 2005 (14% del territori) i un 47% de les que hi havia l'any 1956. Aquest ha estat el cultiu amb major abandonament al llarg de la història.
 - ➔ Cultius de fruits secs (1956/1986/1998); fruits secs abandonats (1986/1998/2005); forestal (1986/1998/2005). Un 8,7% del territori (245 ha) eren cultius de fruits secs que s'han abandonat des del 1956.
 - ➔ Vinya tradicional (1956); cultius de fruits secs (1986/1998); forestal o cultius de fruits secs abandonats (1998/2005). El 2,4% del territori que era vinya tradicional (69 ha) es va transformar a cultius de fruits secs i finalment es van abandonar.

Pel que fa als nous cultius, resulta interessant analitzar quins usos històrics havia tingut la superfície ara dedicada a la vinya aterassada, per comprovar els processos que han tingut lloc al territori, i saber si parlem d'una recuperació directa o no. Així doncs, la **vinya aterassada del 2005 està caracteritzada pels següents canvis:**

Per recuperació de conreus abandonats (un 33% del total de vinya aterassada del 2005):

- ➔ Vinya tradicional (1956); forestal (1986); vinya aterassada (1998/2005). **Un 22% de la vinya aterassada de l'any 2005 (77 ha) havia estat vinya tradicional l'any 1956**, que es va abandonar i posteriorment es va recuperar del 1998 al 2005 però amb plantacions de vinya aterassada.
- ➔ Cultius de fruits secs (1956); forestal (1986); vinya aterassada (1998/2005). El mateix fenomen passa **amb cultius de fruits secs que s'havien abandonat i posteriorment han estat convertits a vinya abancalada**, però sols representa 39 ha (un 11% de la vinya aterassada del 2005).

Per transformació del tipus de conreu (un 26% del total de vinya aterassada del 2005):

- Cultius de fruits secs (1956/1986/1998); vinya aterassada (1998/2005). Un 20% (69 ha) ho són per transformació de cultius de fruits secs.
- Vinya tradicional (1956/1986/1998); vinya aterassada (1998/2005). Un 6% (23 ha) ho són per transformació de vinya tradicional a vinya abançada.

Per reconversió d'usos forestals a agrícoles (un 19% del total de vinya aterassada del 2005):

- Forestal (1956/1986/1998); vinya aterassada (1998/2005). Quasi la mateixa quantitat de vinya aterassada present el 2005 (19% (67,7 ha)) eren el 1956 usos forestals (36,7 ha de bosc i 31 ha de matoll). Per tant, no es pot dir que les vinyes aterassades impliquin una recuperació de la vinya tradicional sinó que es donen per processos ben diversos.

Per altra banda, de les **vinyes tradicionals existents l'any 2005 un 56%** (66 ha) **són vinyes cultivades des de l'any 1956**. Un altre 15% de les vinyes tradicionals s'han recuperat de l'abandonament (13,6 ha) o bé s'han transformat del cultiu de fruits secs (4 ha).

3.3.5. Resum global i discussió dels resultats

A continuació s'exposa un esquema (*Figura 3.14*) que conté de forma resumida els processos més importants que han tingut lloc a Porrera, com a municipi representatiu de la DOQ Priorat:

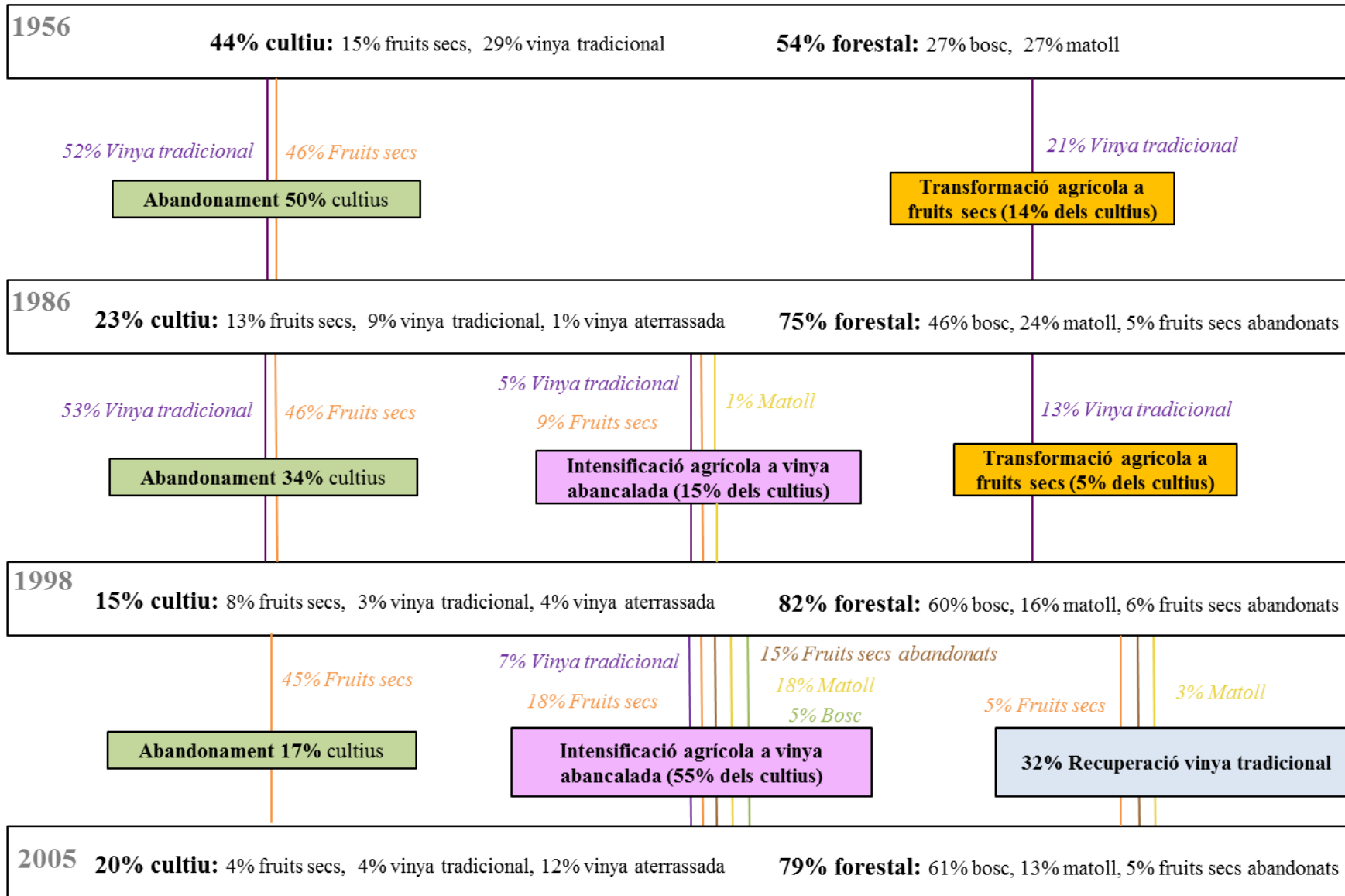


Figura 3.14. Esquema dels processos de canvis d'usos del sòl que han tingut lloc a Porrera (Priorat) del 1956 al 2005

La successió de categories permet detectar processos de canvis d'usos que poden quedar emmascarats amb altres metodologies com l'anàlisi d'estadístiques de cultius i/o usos del sòl. També permet establir quina és la successió de cobertes forestals que es dona en aquesta regió mediterrània, així com el temps aproximat en què té lloc el procés: cultius- matoll – bosc clar i bosc dens. L'establiment d'aquesta successió dona informació davant un ús present, de quin ha estat el seu ús històric.

L'abandonament agrícola que ha tingut lloc a Porrera, i el Priorat en general, els darrers 50 anys, confirma els processos d'abandonament detectats en molts indrets muntanyosos i rurals de la mediterrània, poc productius i que van ser intensivament utilitzats per l'agricultura en un passat (Douglas et al. 1994, Gallart et al., 1994; MacDonald et al., 2000 Dunjó et al., 2003; Bielsa et al., 2005). Aquest abandonament va comportar la pèrdua del 50% de les terres de cultiu del 1956 al 1986. Aquestes terres eren abandonades a favor de zones més productives, i amb certa possibilitat de mecanització, o bé per altres tipologies de treball industrial que se centraven a les ciutats.

Ara bé, l'estudi demostra que l'abandonament es dona molt més intensament en el cultiu de la vinya tradicional que en els cultius de fruits secs. Tot mantenint l'aposta per l'activitat agrícola molta superfície de vinya tradicional es transforma a cultius de fruits secs, que esdevé el cultiu majoritari l'any 1986. Aquestes dues premisses demostren, doncs, que l'abandonament està directament relacionat amb els preus dels productes i, per tant, tot i que el procés d'abandonament afecta els usos agrícoles en general, la intensitat depèn del preu de mercat del producte i, per tant, del marge de benefici de les explotacions. Aquest major benefici queda demostrat en les transformacions de cultius, de vinya tradicional a usos agrícoles.

L'abandonament continua durant els següents 15 anys, del 1986 al 1998, aquesta vegada amb els cultius de fruits secs com a principal ús agrícola abandonat. El major abandonament pot explicar-se per la caiguda del preu dels fruits secs amb la lliure circulació de mercats, i que fa que la producció nacional entri en competència amb Turquia, un dels majors productors mundials (Bozoğlu, 2009, Confran, 2011).

En aquest mateix període s'observa una evolució diferenciada dels dos tipus de maneig de la vinya: mentre l'any 1986 el maneig tradicional era l'única tipologia existent (256 ha enfront les 21 ha d'aterrament), aquesta va perdent extensió, mentre en guanya la vinya aterassada, que l'any 1998 arriba a ocupar superfícies molt similars (95 ha i 111 ha respectivament). Té lloc, doncs, de forma paral·lela un abandonament de la vinya tradicional versus la intensificació de vinya aterassada. L'any 2005 la vinya aterassada triplica la tradicional (117 ha i 348 ha respectivament), i s'intensifica el procés de transformació del 1998 al 2005. S'observa però un canvi de tendència paral·lel a la intensificació de la vinya aterassada, que és la recuperació del maneig tradicional. Aquest fet s'explica per la revalorització econòmica i cultural del raïm procedent de plantacions tradicionals ja que els agents de la zona passen a valorar aquest producte per la seva autenticitat i escassetat. Aquest és un moviment que s'està observant en altres àrees tradicionalment agrícoles i que va associat a un canvi de costums (Harrop, 2007).

No s'ha de deixar de banda, però, que mentre es dona aquesta intensificació segueix l'abandonament dels cultius de fruits secs. Aquest abandonament versus la intensificació agrícola permet constatar que no es tracta únicament de la recuperació d'un cultiu per un millor maneig, sinó que hi intervenen factors de revalorització econòmica del producte.

Tanmateix, cal dir que les noves plantacions de vinya aterassada provenen, en la seva majoria, d'usos forestals. Això ens permet confirmar que no es tracta d'un canvi d'ús agrícola sinó que majoritàriament estaríem davant de noves explotacions agrícoles, atretes principalment pel boom vitivinícola del Priorat (Cots -Folch et al., 2004, Pla et al., 2004), tal i com ha passat en altres regions de la mediterrània com la Toscana o el Penedès (Borselli et al., 2006). Aquests canvis han estat influenciats i/o accelerats per les subvencions de la Política Agrícola Comuna (PAC) (Cots-Folch et al., 2006). La vigència de les subvencions de la PAC van entrar en vigor l'any 2000, coincidint amb el moment de màxima intensificació agrícola, i representaven una subvenció de fins al 50% dels costos de mecanització i intensificació de les explotacions. Així, es podria dir que la PAC no n'és l'agent causant però sí que s'observa una acceleració d'aquest fenomen en el període de vigència dels ajuts. Aquests processos també s'han observat en altres paisatges europeus (IHSE, 1995; Fry i Sarlöv-Herlin, 1997; Fjellstad i Dramstad, 1999). L'abandonament i la intensificació agrícola ha portat a la zona a una forta especialització agrària, basada en el cultiu de vinya mecanitzada, que pot comportar un major risc en centrar-se l'economia en un únic tipus de cultiu.

L'estudi ens demostra quins processos han tingut lloc i que, més enllà de l'abandonament, és possible un ressorgiment de l'activitat agrícola sempre que hi hagi una revalorització del producte. Aquesta és la base a utilitzar per tal que la inversió en polítiques de desenvolupament rural, que s'apliquen molt sovint arreu dels territoris, tinguin una viabilitat a llarg termini.

3.4. CONCLUSIONS

El treball desenvolupat ha permès generar una cartografia detallada i històrica dels usos del sòl al municipi de Porrera, que identifica i quantifica els canvis d'usos i cobertes del sòl que s'han produït del 1956 al 2005 a Porrera.

De l'aplicació de les diferents metodologies es pot concloure:

- El procediment fotogramètric utilitzat ha permès obtenir un material cartogràfic de qualitat com a base per a l'elaboració d'una cartografia històrica i detallada. Tot i l'elevat consum de temps que suposa, l'ortorectificació és un procés indispensable en treballar en una zona amb importants variacions topogràfiques com el Priorat, a una escala detallada i també per a la comparació temporal de mapes, per tal d'obtenir mesures fidedignes de la superfície del territori i no sobreestimar o subestimar els canvis d'usos.
- La classificació semiautomàtica de les ortoimatges pancromàtiques mitjançant xarxes neuronals i patrons texturals presenta una baixa fiabilitat. Tanmateix, l'aplicació ha permès comprovar que la metodologia reconeix i pot classificar a partir d'aquesta propietat, obrint una línia d'investigació futura. Una millora de la metodologia podria passar per l'homogeneïtzació de les tonalitats i la definició de més àrees de calibratge específiques per a cada data d'anàlisi. Un avenç en aquest camp podria ser molt interessant ja que actualment l'única tècnica de classificació automàtica de fotografies aèries pancromàtiques és merament visual i requereix de coneixement expert. En aquest sentit, la fotointerpretació ha permès obtenir dades més fidedignes que les estadístiques agràries històriques.
- En les anàlisis de canvis d'usos i cobertes del sòl, la combinació de diversos índexs de canvi ha permès revelar major informació que pot quedar emmascarada si s'utilitza només un únic índex (p.e. combinació de canvi absolut versus canvi net), que permet una major caracterització dels processos.

- L'anàlisi de la dinàmica entre successions multitemporals ha permès establir l'evolució entre usos i, per tant, determinar amb exactitud quins són els processos i intuir els factors de canvi. Aquest fet desemmascara canvis en el territori quan l'àrea total d'un mateix ús es conserva.

A nivell dels canvis d'usos i cobertes del sòl produïts en el territori, l'anàlisi dona un extens detall dels processos, entre els quals destaca:

- La configuració dels usos i cobertes del sòl al llarg dels darrers 50 anys a Porrera ha sofert intensos processos de canvi que ha afectat un 76% del territori.
- Els canvis d'usos i cobertes del sòl de la regió estan associats a l'activitat agrícola i la successió natural forestal: abandonament d'usos tradicionals, intensificació agrícola i lleugera recuperació de cultius tradicionals.
- A diferència d'altres estudis, l'abandonament i la intensificació agrícola tenen lloc en el mateix espai físic, però amb temporalitat i conduïts per característiques i situacions socioeconòmiques diferents. Això ens indica que els aspectes socioeconòmics com les dinàmiques del mercat, en contra de les limitacions biofísiques, poden actuar com a major determinant dels usos del sòl.
- L'any 1956 bona part del territori era agrícola (44%), amb una forta especialització en la vinya tradicional (68% dels cultius). La vinya ocupava el 30% del territori. Considerant aquest valor, i les dades que confirmen que a finals del s. XIX el 74% del municipi de Porrera estava ocupat per vinya, es desmenteix que després de la fil·loxera s'abandonessin la majoria de les vinyes tradicionals tal i com afirmen la majoria d'autors.
- En els darrers 50 anys a Porrera tenen lloc diversos processos de canvis d'usos del sòl de tipus agrícola i amb tendències oposades:
 - L'abandonament dels cultius tradicionals de vinya i fruita seca, que ocasionen que del 1956 al 1986 es perdin el 50% de les terres de cultiu (21 ha/any), i del 1986 al 1998 el 34% dels cultius (19 ha/any). En total del 1956 al 1998 s'abandona el 66% dels cultius, i en tot el període el 56% de les terres de cultiu del 1956. Del 1998 al 2005 l'abandonament només té lloc pels cultius de fruits secs (45% dels fruits secs). El fet que l'abandonament no es doni amb la mateixa intensitat per als diferents cultius explica que, més enllà dels factors de tipus regional, aquest procés, a nivell local, està fortament condicionat pels preus dels productes i la rendibilitat econòmica de les explotacions.
 - La intensificació agrícola del 1998 al 2005, que incrementa en un 29% la superfície cultivada, i un 217% la vinya aterassada, i que passa a ocupar el 60% dels cultius. Aquest no té lloc per la recuperació de cultius tradicionals sinó que un 70% de la nova vinya abancalada procedeix d'usos forestals.
 - Transformació agrícola: del 1956 al 1986 el 21% de la vinya tradicional es transforma en cultius de fruits secs, mentre que del 1998 al 2005 un 18% dels cultius de fruits secs són transformats en vinya abancalada. Aquests resultats mostren que, al Priorat, factors econòmics com el preu del producte estan estretament lligats a l'abandonament i la intensificació.

- La recuperació de vinyes tradicionals del 1998 al 2005. Aquest fet s'associa a una revalorització econòmica i social del producte procedent d'aquestes explotacions, lligat a les necessitats de conservació del paisatge.
- La vinya és l'ús per excel·lència a la zona i el que té major dinamisme. El 1956 la vinya tradicional era l'única tipologia existent, i fins al 1986 es perd el 71%, per abandonament (el 52%) i per transformació a cultius de fruits secs (21%). Aquest procés d'abandonament de la vinya tradicional es continua observant fins al 1998. Per contra, del 1986 al 1998 la vinya aterassada agafa protagonisme, i arriben a igualar-se les superfícies. El 2005, la vinya aterassada triplica la tradicional. En aquest darrer període però es comença a recuperar la vinya tradicional (23%) ja que els productors creuen que aquestes plantacions produeixen millor qualitat.
- Tot i el fort creixement de la vinya els darrers anys, la superfície d'usos del sòl resta lluny de la superfície ocupada per la vinya durant l'any 1900, que era del 74%.
- Els processos de canvi no van associats únicament a la recuperació de cultius abandonats sinó que en part es donen per la conversió d'usos forestals. Aquest fet s'explica perquè moltes de les explotacions no són recuperades sinó que, probablement, són de nous inversors que adquireixen aquestes terres.

3.5. REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES

Aitkenhead M.J., McDonald A.J.S., Dawson J.J., Couper G., Smart R.P., Billett M., Hope D., Palmer S., 2003. A novel method for training neural networks for time-series prediction in environmental systems. *Ecological Modelling*, 162, 87-95.

Aitkenhead M.J. , Wright G.G., 2004. Mapping land use in NE Scotland with neural networks from remote sensing imagery, *Proceedings of the Remote Sensing and Photogrammetry Society Conference*, Aberdeen, UK.

Aksoy S., Haralick R.M., 1998. Textural features for image database retrieval. In: *IEEE Workshop on Content-Based Access of Image and Video Libraries*, Santa Barbara, CA: IEEE Computer Society. pp. 45-49.

Aria E.H., Amini J., Saradjian M.R., 2003. Back propagation neural network for classification of IRS-1D satellite images. *Proceedings, Joint Workshop of ISPRS Working Groups I/2, I/5, IC WG II/IV and EARSeL Special Interest Group: 3D Remote Sensing, High Resolution Mapping from Space 2003*, Oct. 6-8, 2003, Hannover.

Arivazhagan S., Ganesan L., 2003. Texture classification using wavelet transform. *Pattern Recognition Letters*, 24, 1513-1521.

Aronoff S., 1982. Classification accuracy: a user approach. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 44, 1299-1307.

Atkinson P.M., Tatnall A.R.L., 1997. Neural networks in remote sensing. *International Journal of Remote Sensing*, 184, 699-709.

Berberoglu S., Lloyd C.D., Atkinson P.M., Curran P.J., 2000. The integration of spectral and textural information using neural networks for land cover mapping in the Mediterranean. *Computers and Geosciences*, 26, 385-396.

Bertsekas D.P., Tsitsiklis J. N., 1996. *Neuro-Dynamic Programming*. Belmont, MA: Athena Scientific. ISBN 1-886529-10-8.

Bielsa I., Pons X., Bunce B., 2005. Agricultural Abandonment in the North Eastern Iberian Peninsula: The Use of Basic Landscape Metrics to Support Planning *Journal of Environmental Planning and Management*, 48, 85-102.

Bishop C.M., 1995. *Neural Networks Pattern Recognition*. Oxford: Oxford University Press. pp. 482.

Borselli L., Torri D., Øygarden L., De Alba S., Martínez-Casasnovas J.A., Bazzoffi P., Jakab G., 2006. Soil erosion by land levelling. In: Boardman, J., Poesen, J. (Eds.), *Soil Erosion in Europe*. John Wiley and Sons, Inc. pp. 643-658.

Bozoğlu M., 2009. Effects of Turkey's Accession to the European Union on Hazelnut Markets. *Proceedings of VII^o International Congress on Hazelnut*. Acta Horticulturae 845, ISHS.

Briassoulis H., 2000. Analysis of land use change: theoretical and modeling approaches. In Loveridge, S. (ed). *The web book of regional science*. West Virginia University, Morgantown, US.

Brookfield H.C., 1972. Intensification and disintensification in Pacific agriculture. *Pacific Viewpoint*, 13, 30-48.

Canfran A., 2011. Situació del sector de l'avellana a Catalunya. III Jornada Nacional de l'Avellana. Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca, Alimentació i Medi Natural. Generalitat de Catalunya. Accessible online a: <http://www.gencat.cat/>

Chuvienco E., 2002. Teledetección Ambiental. La observación de la Tierra desde el Espacio. Barcelona: Editorial Ariel. S.A. pp. 586

Congalton R.G., 1988. A comparison of sampling schemes used in generating errors matrices for assessing the accuracy of maps generated from remotely sensed data, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 54, 593-600.

Congalton R.G., 1991. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, 37, 35-46.

Congalton R. G., 1996. Accuracy Assessment: A Critical Component of Land Cover Mapping. In: *Gap Analysis: A Landscape Approach to Biodiversity Planning*. Scott, J. Michael, Timothy H. Tear, and Frank W. Davis (eds.). American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 19-131.

Cots-Folch R., 2004. Dinàmica espacio-temporal dels usos del sòl i canvis del paisatge a Porrera (DOQ Priorat). Memòria del treball d'Investigació per a l'obtenció del Diploma d'Estudis Avançats (DEA). Universitat de Lleida. Espanya.

Cots-Folch R., Laporta L., Martínez-Casasnovas J.A., Ramos M.C., 2004. Impacts on soil physical properties in the vineyard region (NE Spain). In *Proceeding of the 4th International Congress of the ESSC*, A. Kertész, A. Kovács, M. Csuták, G. Jakab, B. Madarász (Eds.) (Budapest: ESSC and Hungarian Academy of Sciences), pp. 196-199.

Cots-Folch R., Martínez-Casasnovas J.A., Ramos M.C., 2006. Land terracing for new vineyard plantations in the north-eastern Spanish Mediterranean region: Landscape effects of the EU Council Regulation policy for vineyards' restructuring. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 115, 88-96.

Cots-Folch R., Aitkenhead M. J., Martínez-Casasnovas J.A. 2007. Mapping land cover from detailed aerial photography data using textural and neural network analysis. *International Journal of Remote Sensing*, 28 (7), 1625-1642.

De Alemida CL., Vieira AM., Camara G., Camara G, Silvera B., Couthino G., Lopes C., Batty M., 2005. GIS and remote sensing as tool for the simulation of urban land-use change. *International Journal of Remote Sensing*, 26 (4), 759-774.

Douglas T.D., Kirkby S.J., Critchkey R.W., Park G.J., 1994. Agricultural terrace abandonment in the Alpujarra, Andalucía, Spain. *Land Degradation and Rehabilitation*, 5, 281-291.

Dry F.T., Richman A.G., Hipkin J.A., Miller D.R., 1992. The measurement and analysis of land cover changes in part of the Central Valley of Scotland - with respect to interactions between agriculture, forestry, conservation and the impact of development policy. Report submitted to Scottish Office Environment Department and the Scottish Office Agriculture and Fisheries Department, Macaulay Land Use Research Institute, Aberdeen.

Fernández-Sarría A., Recio J., Ruiz L.A., 2003. Análisis de imágenes mediante texturas: Aplicación a la clasificación de unidades de vegetación. *Geo-Focus*, 3.

Dunjó G., Pardini G., Gispert M., 2003. Land use change effects on abandoned terraced soils in a Mediterranean catchment, NE Spain, *Catena*, 52, 23-37.

- Dutra L.V., Huber R., Hernandez P., 1998. Primary forest and land cover contextual classification using JERS-1 data in Amazonia, Brazil. Proceedings of International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Seattle, WA, USA. July 1998.
- Erdas Imagine, 1999. OrthoBASE Tour Guide. Erdas Imagine v8.4. Erdas, Inc: Atlanta, Georgia. pp 224.
- Erdas Imagine, 2001. Imagine OrthoBASE User's Guide V8.5. Erdas, Inc. Atlanta, Georgia.
- Fjellstad W. J., Dramstad W. E., 1999. Patterns of change in two contrasting Norwegian agricultural landscapes, *Landscape and Urban Planning*, 45, 177-191.
- Foody G.M., 1996. Relating the land-cover composition of mixed pixels to artificial neural network classification output. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 62, 491-499.
- Fry G., Sarlöv-Herlin I., 1997, The ecological and amenity functions of woodland edges in the agricultural landscape: a basis for design and management. *Landscape and Urban Planning*, 37, 45-55.
- Gallart F., Llorens P., Latron J., 1994. Studying the role of old agricultural terraces on runoff generation in a Mediterranean small mountainous basin. *Journal of Hydrology*, 159, 291-303.
- Halounová L., 2003. Textural classification of Black and White aerial photographs for the forest classification. In: Proceedings of the 23rd symposium of EARSeL, R. Goossens (Ed.), Rotterdam: Millpress. pp 173-179.
- Haralick R.M., Shanmugam K., Dinstein I., 1973. Texture features for image classification. *IEEE Transactions on system, man and cybernetics*, 3, 610-622.
- Harrop S.R., 2007. Traditional agricultural landscapes as protected areas in international law and policy. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 121 (3), 296-307.
- Hay A.M., 1979, Sampling designs to test land-use map accuracy, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 44, 529-533.
- He H., Collet C., 1999. Combining spectral and textural features for multispectral image classification with artificial neural networks. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 32.
- Hord R.M., Brooner W., 1976. Land use maps accuracy criteria. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 42, 671-677.
- Iglésies J., 1975. Les minves dels cultius i de la població a la comarca del Priorat. Fundació Vives Casajuana, Barcelona.
- Ihse M., 1995. Swedish agricultural landscapes – patterns and changes during the last 50 years studied by aerial photos. *Landscape and Urban Planning*, 31, 21-37.
- Jiménez-Delgado M., Martínez-Casasnovas J.A., Ramos M.C., 2003. Impacte De Les Transformacions De Terres I Canvis D'usos Del Sòl En L'erosió Hídrica En Vinyes de L'alt Penedès – Anoia. Congress “Els paisatges de la vinya” (Vineyard landscapes), Manresa (Spain), pp 24 –26.
- Jiménez-Delgado M., 2004. Impactes de les transformacions de le terres i canvis d'usos del sòl en l'erosió hídrica en les vinyes de l'Alt Penedès-Anoia. Projecte Final de Carrea. ETSEA. Universitat de Lleida. Espanya.

- Johnston C., 1998. *Geographics Information Systems in Ecology. Methods in Ecology*. Ed. Blackwell Science. ISBN 0-632-03859-4.
- Kavzoglu T., Mather P.M., 2003, The use of backpropagating artificial neural networks in land cover classification, *International Journal of Remote Sensing*, 24, 4907-4938.
- Korotkov V.N., Logofet D.O., Loreau M., 2001. Succession in mixed boreal forest of Russia: Markov models and non-Markov effects. *Ecological Modelling*, 142, 25-38.
- Lambin E.F., 1997. Modelling and monitoring land-cover change processes in tropical regions. *Progress in Physical Geography*, 21, 375-393.
- Lambin E.F., Rounsevell M.D.A., Geist H.J., 2000. Are current agriculture land use models able to predict changes in land-use intensity?. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, 82, 321-331.
- Lasanta-Martínez T., Vicente-Serrano S.M., Cuadrat-Prats J.M., 2005. Mountain Mediterranean landscape evolution caused by the abandonment of traditional primary activities: a study of the Spanish Central Pyrenees. *Applied Geography*, 25 (1), 47-65.
- López E., Bocco G., Mendoza M., Duhau E., 2001. Predicting land-cover and land-use change in the urban fringe: A case in Morelia city, Mexico. *Landscape and Urban Planning*, 55, 271-285.
- Lara F., 1998. *Artificial Neural Network: An Introduction*. Journal of the Mexican Society of Information. Vol 3, 9.
- Leica Geosystems, 2003. *Leica Photogrammetry Suite, OrthoBASE and OrthoBASE Pro. User's Guide*. Leica Geosystems GIS and Mapping LLC. 516 pp.
- Lek S., Guégan J.F., 1999. Artificial neural networks as a tool in ecological modelling, an introduction. *Ecological Modelling*, 120, 65-73.
- Li Z, Li X, Wang Y, Ma A, Wang J., 2004. Land-use change analysis in Yulin prefecture, northwestern China using remote sensing and GIS. *International Journal of Remote Sensing*, 25, 5691-5703.
- López E., Bocco G., Mendoza M., Duhau E., 2001. Predicting land-cover and land-use change in the urban fringe: A case in Morelia city, Mexico. *Landscape and Urban Planning*, 55, 271-285.
- Loveland T.R., Sohl T.L., Stehman S.V., Gallant A.L., Saylor K.L., Napton D.E., 2002. A strategy for estimating the rates of recent United States land-cover changes. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 68, 1091-1099.
- Luijten J.C., 2003. A systematic method for generating land use patterns using stochastic rules and basic landscape characteristics: results for a Colombian hillside watershed, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 95, 427-441.
- MacDonald D., Crabtree J.R., Wiesinger G., Dax T., Stamou N., Fleury P., Gutiérrez-Lazpita J., Gibon A., 2000. Agricultural abandonment in mountain areas of Europe: environmental consequences and policy responses. *Journal of Environmental Management*, 59, 47-69.
- Margalef J., Tasia J., 1985. *El Priorat. Anàlisi d'una crisi productiva*. Caixa d'Estalvis de Catalunya, Barcelona. ISBN: 84-505-2907-7.

- Mas J.F., 2004. Mapping land use/cover in a tropical coastal area using satellite sensor data. GIS and artificial neural networks. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 59, 219-230.
- Margaris N.S., Koutsidou E., Giourga C.H., 1996. Changes in traditional Mediterranean land-use systems Chapter 3. In: Brandt, C.J. and Thornes, J. (Eds.), *Mediterranean Desertification and Land Use*. Wiley, Chichester, pp 29-42.
- Martí C., Pintó J., 2003. Metodologia d'anàlisi de la transformació del paisatge de la Costa Brava en els darrers 50 anys per mitjà dels canvis en els usos i les cobertes del sòl. A: *Actas del IV Congrés de la Ciència del Paisatge*. Univ. de Barcelona. Castelló d'Empuries, Girona.
- Petit C., Lambin E.F., 2001. Integration of multi-source remote sensing data for land cover change detection. *International Journal of Geographical Information Science*, 8, 785-803.
- Pla I., Ramos M.C., Nacci S., Fonseca F., Abreu X., 2004. Soil and water conservation as affected by changing Mediterranean climate and land management in vineyards of Catalonia (NE Spain). In: Kertész, A., Kovács, A., Csuták, M., Jakab, G., Madarász, B. (Eds.), *Proceedings of the 4th International Congress of the ESSC*. Hungarian Academy of Sciences, Geographical Research Institute, Budapest, pp 86-91.
- Puissant A., Hirsch J., Weber C., 2005. The utility of texture to analysis to improve per-pixel classification for high to very high spatial resolution imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 26, 733-745.
- Rabbinge R., van Diepen C.A., 2000. Changes in agriculture and land use in Europe. *European Journal of Agronomy*, 13, 85-99.
- Renwick A., Jansson T., Verburg P.H., Revoredo-Giha C., Britz W., Gocht A., McCracken D., 2013. Policy reform and agricultural land abandonment in the EU. *Land Use Policy*, 30 (1), 446-457.
- Rocchini D., Di Rita A., 2005. Relief effects on aerial photos geometric correction. *Applied Geography*, 25, 159-168.
- Romero-Calcerrada R., Perry G.L.W., 2004. The role of land abandonment in landscape dynamics in the SPA 'Encinares del río Alberche y Cofio, Central Spain, 1984-1999, *Landscape and Urban Planning*, 66 (4), 217-232.
- Rosenfield G.H., Fitzpatrick-Lins K., 1986. "A Coefficient of Agreement as a Measure of Thematic Classification Accuracy." *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 52, 223-227.
- Rubio E., Artiago M.M., Caselles V., Coll C., Valor E., 2001, *Cartografía de la Vid con datos de Landsat-TM. Aplicación a una Zona de Tomelloso (Ciudad Real)*. *Revista de Teledetección*, 15. Available online at: http://telenet.uva.es/promotores/revista/revista_15/AET15_5.pdf
- Rumelhart D.E., Hinton G.E., Williams R.J., 1986, Learning internal representations by error backpropagation, in D.E. Rumelhart and J.L. McClelland (Eds), *Parallel distributed processing*, MIT Press, 1, 318-362.
- Salvini R., Anselmi M., Rindinella A., Callegari I., 2004. Quickbird stereo-photogrammetry for geological mapping (Cyrene-Libya). In *ISPRS Congress Istanbul*.
- Schneider LC., Pontius RG., 2001. Modeling land-use change in the Ipswich watershed, Massachusetts, USA. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 85, 83-94.

- Serneels S., Lambin E.F., 2001. Proximate causes of land-use change in Narok District, Kenya: a spatial statistical model. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 85 (1-3), 65-81.
- Serra P., 2002. Dinàmiques del paisatge agrari a l'Alt Empordà (1977-1997). Una anàlisi a partir de la teledetecció i dels sistemes d'informació geogràfica. Tesis doctoral, Universitat Autònoma de Barcelona. Barcelona (Espanya).
- Serra P., Pons X., Saurí D., 2002. Anàlisi dels usos del sòl de la Plana de l'Alt Empordà i la seva localització a través de la teledetecció (1977-1993). *Documents d'Anàlisi Geogràfica*, 36, 63-89.
- Serra P., Pons X., Saurí D., 2008. Land-cover and land-use change in a Mediterranean landscape: A spatial analysis of driving forces integrating biophysical and human factors. *Applied Geography*, 28 (3), 189-209.
- Shah S.K., Gandhi V., 2004. Image classification based on textural features using artificial neural network (ANN). *Electronics and Telecom Engineering*, 87, 72-77.
- Story M., Congalton R.G. 1986. Accuracy assessment: A users perspective. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 52, 397-399.
- Stuttard M., 1992. GIS and remote sensing. A: Cadoux-Hudson, J.; Heywood, I. (Ed). *Geographic information*. London, Taylor and Francis.
- Thornes J.B., 1996. Introduction. Chapter 1. In: Brandt, C.J., Thornes, J. (Eds.), *Mediterranean Desertification and Land Use*. Wiley, Chichester, pp 13-28.
- Tuominen S., Pekkarinen, A., 2005, Performance of different spectral and textural aerial photograph features in multi-source forest inventory. *Remote Sensing of Environment*, 94, 256-268.
- Turner B.L., Hanham R.Q., Portararo A.V., 1977. Population pressure and agricultural intensity. *Annals of the Association of American Geographers*, 67 (3), 384-396.
- Turner B.L., Doolittle W.E., 1978. The concept and measure of agricultural intensity. *Professional Geographer*, 30 (3), 297-301.
- Turner B.L., Moss R.H., Skole D.L., 1993. Relating land-use and global land-cover: a proposal for an IGBP-HDP core project. *Global Change IGBP N° 24, HDP report N° 5*.
- Turner B.L., Skole D., Sanderson S., Fischer G., Fresco L., Leemans R., 1995. Land-Use and Land-Cover Change Science/Research Plan. The International Geosphere-Biosphere Programme: A Study of Global Change (IGBP) of the International Council of Scientific Unions (ICSU) and the Human Dimensions of Global Environmental Change Programme (HDP) of the International Social Science Council (ISSC), Stockholm and Geneva.
- Vanwambeke S., 2005. Impacts of land-use change on mosquito-borne diseases in Northern Thailand. PhD. University Catholic of Louvain. Belgium.
- Veldkamp A., Lambin E.F., 2001. Editorial: predicting land-use change. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 85, 1-6.
- Veldkamp A., Verburg P.H., 2004. Modelling land use change and environmental impact. *Journal of Environmental Management*, 72 (1-2), 1-3.
- Verburg P.H., Koning G.H.J., Kok K., Veldkamp A., Bouma J., 1999. A spatial explicit allocation procedure for modeling the pattern of land use change upon actual land use. *Ecological Modelling*, 116, 45-61.

4. FARMING STRATEGIES AND LANDSCAPE IMPLICATIONS

Chapter 4

FARMING STRATEGIES AND LANDSCAPE IMPLICATIONS

ABSTRACT

Priorat region is underlying an agricultural land-use change process. In this context, this chapter wants to analyse the changes in farming systems that are transforming the social and environmental characteristics of the region. The main objectives of the work are: a) to contribute to the understanding of agricultural trajectories and farming systems that are transforming the social and environmental characteristics of Mediterranean mountain areas, focusing on the analysis of a sample area of the Priorat over the period 1986-2005; and b) to analyze the farming systems that coexist in the region with regards to the landscape impacts they involve and the influence of CAP subsidies in each one. A methodological approach based on the combination of multivariate statistical techniques was used to obtain a better knowledge of the heterogeneity of farming systems on a local scale. The results show that, although most farms cultivate a mosaic of traditional crops and have small mechanized areas, a minority group follows a high intensification and specialization strategy, which is based on new mechanized terraced vineyards. This group only comprises 12% of the farmers in the region, but owns 61% of the new vineyard plantations and 42% of the total agricultural land, receiving most of the subsidies (68%) from the EU vineyard conversion and restructuring policy. The results should be taken into account to avoid current contradictions and impacts of the EU CAP and to favour the maintenance of traditional agricultural management practices and landscapes.

Keywords: agricultural trajectory; farming system; Mediterranean mountain region; vineyards; Spain, EU Common Agricultural Policy; multivariate analysis.

Published in:

- Cots-Folch, R., Martínez-Casasnovas, J.A., Ramos, M.C. 2009. Agricultural trajectories in a Mediterranean mountain region (Priorat, NE Spain) as a consequence of EU vineyard conversion plans. *Land Degradation & Development*, 20, 1-13.
- Cots-Folch, R., Martínez-Casasnovas, J.A., Ramos, M.C. 2008. Farming Strategies and landscape implications in the Priorat vineyard Regions (NE Spain). In: Dazzi, C and Costantini, E. (eds), *The Soils of Tomorrow, Serie Advances in GeoEcology*. Ed. Catena Verlag, Reiskirchen, Germany, 101-116.

4.1. INTRODUCTION

Until the early 20th century, mountain areas of the Mediterranean region were mainly devoted to subsistence farming, depending on family labour and mixed farming. This favoured the expansion of farming to marginal areas such as steep hillslopes, where crops were cultivated mostly with stone bench terraces as a soil conservation measure—a structure that is distinctive of the Mediterranean mountain landscape (Douglas et al., 1994, 1996; Gallart et al., 1994; Dunj6 et al., 2003). During the last century, economic and technologic change occurring have undergone two simultaneous and divergent processes of land use/cover change: the abandonment of land and traditional farming practices (Landi, 1989; Douglas et al., 1994), and the intensification of more productive areas (Stoate et al., 2001; Tanrivermis, 2003; J6mez-Delgado et al., 2004), and as consequence, new farming systems strategies have been created.

These changes are entailing a fast and irreversible change in vegetation and management systems (Jongman, 2002), acting as one of the main forces of environmental degradation through their impact on soil, water resources (Garc6a-Ruiz et al., 1996; Clarke and Rendell, 2000; Zalidis et al., 2002) and biodiversity (Kleijn et al. 2001; Belfrage et al., 2006; Donald et al., 2006), and their homogenization of the lanscape (Jongman, 2002). It is clear that the changes in land use and landscape configurations in mountainous Mediterranean regions are being stimulated by new market opportunities and by European agricultural policies. The conservation of Europe's agricultural landscape is necessary in order to preserve biodiversity, cultural heritage and traditional agricultural uses and practices, but the highly productive modern farming systems may be not compatible with this goal (Hampicke, 2006).

In some mountain regions as the Priorat, with a particular traditional crop cultivation, after the characteristic marginalization that led to an almost complete abandonment of the land during the first three quarters of the 20th century has undergone a severe and rapid agricultural intensification process. New farming strategies are based on mechanized terracing systems, replacing or coexisting with traditional ones, and require major morphologic changes to the hillslopes (levelling and terracing) performed by heavy machinery. These operations have been stimulated by the CAP, which directly have subsidized the new plantations through the restructuring and conversion plans (Commission Regulation EC N6 1227/2000 of 31 May 2000) (Cots-Folch et al., 2006). As a result, a few large companies and investors have created new vineyard plantations in this area using available mechanical technologies, which has involved removing forest or traditional crops and reshaping the hillslopes (Cots-Folch et al., 2006). Meanwhile, other farmers continue to cultivate crops in the traditional way or have even recovered them because they believe this offers the added value of better quality wines.

As occurs in the Priorat, people are important actors on the landscape that shape and are shaped by the environment (Walsh et al., 2001). Understanding the decision-making process, the spatial impact of decisions and the interaction between human activities and the environment is the focus of land-change science (Rindfuss et al., 2003). Some policies have been formulated to avoid abandonment and preserve 'low-intensity' systems in mountain regions, but they have resulted in over-exploitation and further environmental impact without avoiding abandonment (Caraveli 2000; Mottet et al., 2006).

The relationship between polices and land use change, as the drivers and elements that plays a role on the decision making processes of farming agricultural stretegies, are nowadays the aim of research studies on account of the impact of the results (Lorent et al., 2008, Borges et al., 2010, Renwick et al., 2013). There is a need to reformulate policies and strategies aimed at

promoting sustainable land uses and management practices in mountain landscapes and the identification and characterization of farming systems (Rasul et al., 2004; Thapa and Rasul, 2005) and their environmental impacts could be a useful tool. In order to design effective policies we need to know and characterize the different actors, farming systems and the impact of the land use and land cover change process. To this end, research studies aimed at integrating socioeconomic factors related to land use change are increasing (Mottet et al., 2006, Serra et al. 2008, Müller et al. 2009, Santiphop et al., 2012). They involve joining social science data with remotely sensed and other spatial data and it has been proven the major challenge of land use and land cover research (Rindfuss et al., 2003). Multivariate statistical techniques are used to analyse the data depending on the objective of the work (data reduction, structure detection, detecting relationships, classification or dependent variable analysis) and data structure (Lesschen et al., 2005). The diversity in data structure, research questions and case study-specific conditions make a careful analysis of the requirements of the methods necessary for each specific case study. At the end, these techniques allow us to answer one of the main questions of land use and land cover change science: what are the main ecological and socioeconomic variables which drive land cover change? (“why?”) (Lambin, 1997).

Linkage of socioeconomic and remote sensing data can be studied at several levels. One common solution has been to aggregate the various type of data at the level of administrative units. However, land-use decision are mostly made at household level, and extending conclusion drawn at the administrative unit level to the household level can produce spurious results, a phenomenon known as ecological fallacy (Gibson et al., 2000; Rindfuss et al., 2003).

Household decision making are critical to understanding the changes in land use and land cover that are occurring throughout the world because many important land use and land cover decisions are made at micro level. The linkage of socioeconomic household-level data and remote sensing data at the household level in general captures best the actual level of decision making, except in rare cases where policy decisions at an administrative unit level are a more important determinant. Linked household level data also allow a representation of the heterogeneity between households operating in a spatial unit, and help to find the more impact farming strategies (Lesschen et al., 2005). However, linking remote sensing and socio-economic data at the household level comes at a certain cost as it requires georeferencing every plot of the interviewed households (Lambin 2003).

The aim of the present research was to contribute to the understanding of agricultural trajectories and farming systems that are entirely transforming the social and environmental characteristics of Mediterranean mountain areas, and the impact of PAC subsidies on abandon or intensification processes. It focused on: 1) the analysis of the main agricultural trajectories in the Priorat region over the period 1986–2005, when the main land use and management changes of the last century took place; and 2) the analysis of the farming systems that coexist in the region in relation to the landscape impacts they involve and the influence of CAP subsidies in each one. Multivariate factor and cluster analysis were used to group farmers according to their land use and management strategy, which have different implications for the landscape. The analysis was made on a local scale and was based on variables obtained from farm surveys and map analysis. The physical farming attributes and impacts related to farming systems are linked to farm characteristics (Maton et al., 2005). Dynamic variables were also included for better characterization of farms’ evolution (Iraizoz et al., 2007).

In contrast to most of farming management studies, this is developed on a local scale within a geographic area with homogeneous physical attributes to seek the environmental impact of

farmers' decisión (households' decision) beyond bio-physical constrains. It wants to contribute to filling one of the main gaps in farming systems research related to the failure to deal with the heterogeneity of systems within a geographic area (Köbrich et al., 2003; Iraizoz et al., 2007).

4.2. MATERIAL AND METHODS

4.2.1. Study area

The analysis of farming systems and their implications for the landscape was carried out in the region of the Priorat Qualified Designation of Origin (Catalonia, NE Spain).

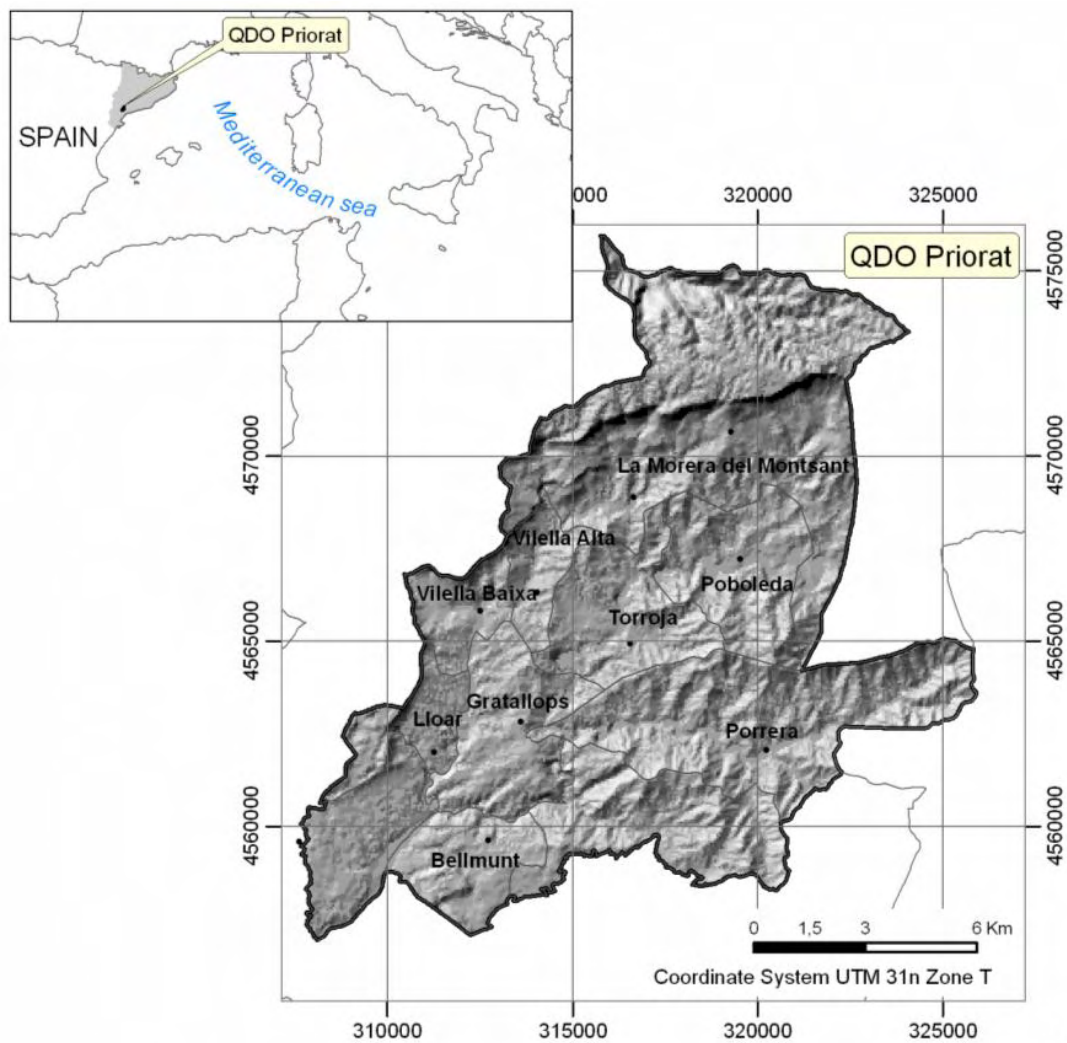


Figure 4.1. Location of the study area – QDO Priorat

In this region two main types of farming system coexist at present: traditional and modern ones. Traditional farming has been present in the region since before the 19th century. It is based on the cultivation of hillslopes (usually with slopes higher than 50%) with stone terraces (Cots-Folch et al., 2006; Kizos and Koulouri 2006), which act as a soil conservation structure and help to facilitate the labour of men and (formerly) animals (Roigé, 1988). Due to the high slopes, the shallow soils and the hard parent rocks (schists), the terracing system was mainly limited to small stone walls approximately 0.5 m high and 2-3 m apart. This system does not produce a

significant topographic transformation of the landscape. The exploitation structure was characterized by human labour (mainly the family) working several distant fields of small size (0.5 to 2 ha) (Margalef and Tasia, 1985).

The modern farming system has recently emerged (mainly since 1995) and it is based on cultivation by means of machinery (small tractors). This requires land terracing by bulldozers and backhoe loaders. The terraces are of the linked bench type. The terrace rises 4.8 ± 3.0 m in height, with an average slope of 39.4° (Ramos et al., 2007), are unprotected by stone walls or vegetation. Some of the main impacts of these transformations have been studied by Cots-Folch et al. (2006), Fonseca (2006) and Ramos et al. (2007), who report that land terracing requires a total soil mobilization of $5,437 \pm 517 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$, resulting in the alteration of original soils, natural drainage and landslides, which cause major damage to vines, irrigation systems and training systems.

4.2.2. Data collection

In the present research the concept of the farming system as defined by the FAO (2001) was adopted. This is conceived as a population of individual farm systems that have broadly similar resource bases, enterprise patterns, household livelihoods and constraints, for which similar development strategies (agricultural trajectories) and interventions would be appropriate. The household, its resources, and the resource flows and interactions at this individual farm level are together referred to as a farm system (FAO, 2001).

The trajectories in the agricultural activities pursued by farmers in the study area and the different farming strategies adopted (the manner and/or degree of adoption of the existing farming systems on each farm) were determined through interviews on a sample of 50 households that were randomly selected in the municipality of Porrera, which is a representative municipality of the Priorat Qualified Designation of Origin and of the farming strategies carried out in the region. The selected households accounted for 158 plots, which represent up to 42% of the study area and the 59% of total farms in 2009 (IDESCAT, 2012). Land location, tenure and policy information at household level were acquired by means of interviews. The survey was done retrospectively, from 2005 to 1986, based on comparative questions concerning landscape and farming system changes during that period (*Annex 4.1*). This gave us detailed information on how farmers in the area have adopted the farming systems and allowed us to assign different degrees of landscape impact to them.

To characterize land use in the study years (1986 and 2005), a detailed land-use cover database was derived from aerial photographs from 1986 flights (approximate scale of 1:18,000, Cartographic Institute of Catalonia) and a 2005 panchromatic QuickBird-2 satellite image. The images were orthorectified using the OrthoBase Module of ERDAS Imagine 8.6. Land use information was mapped using ArcMap 9.0 software and validated by field work and local expert knowledge.

In our study area we benefited from system based on individual private land tenure, of most households having more than one property and not living on.

4.2.3. Trajectories of the agricultural activities in the study area

To identify the trajectories of the agricultural activities in the study period (1986-2005), a factor analysis was performed. The criteria proposed by Köbrich et al. (2003) and Maton et al. (2005)

were applied to analyze missing data, variation, relevance and correlation. The selected variables defining land use cover for 1986 and 2005 are listed in Table 1. The total land of each owner was not included as a variable because land is not a limitation factor for agriculture in the Priorat, and is not relevant for the typification required by the objective of the study (Köbrich et al., 2003). Also, the mechanized farming system type was not considered in 1986 because it was almost nonexistent at that time and to avoid confusion in the analysis, because cluster analysis is sensitive to irrelevant variables (Hair et al., 1999). In addition, two farms were removed because they completely abandoned agricultural activity. The initial data indicate some other atypical cases for diverse variables. Nevertheless, according with Hair et al. (1999), they were considered in the analysis as they are representative of the undergoing change processes in the region.

Table 4.1. Code and description of landscape variables used in the analysis

Variables	
Code	Description of landscape variables
RAINF_05	Area of rainfed trees in 2005 (ha)
VINYA_05	Area of vineyards in 2005 (ha)
TSYST_05	Area of agricultural uses under traditional management system in 2005 (ha)
MSYST_05	Area of agricultural uses under new mechanized system in 2005 (ha)
MPLOT_05	Average area of cultivated plot in 2005 (ha)
RAINF_86	Area of rainfed trees in 1986 (ha)
VINYA_86	Area of vineyards in 1986 (ha)
TSYST_86	Area cultivated under traditional management system in 1986 (ha)
MPLOT_86	Average area of agricultural plots in 1986 (ha)
LUCC	Land use-cover change area from 1986 to 2005 (ha)
RATIO	Ratio of land use-cover change from 1986 to 2005 (ha year ⁻¹)
ABAND	Abandoned land from 1986 to 2005 (ha)

Factor analysis defines the dimensions that construct the multidimensional space of agricultural activities of farmers in terms of underlying but unobservable factors. It can also be viewed as a statistical procedure for grouping variables into subsets such that the variables within each subset are highly correlated with each other, whereas at the same time variables in different subsets are relatively uncorrelated (Jobson, 1992). Factor analysis attempts to identify underlying variables, or factors, that explain the pattern of correlations within a set of observed variables (Lesschen et al., 2005). This data analysis technique is applied as data reduction or structure detection and to explore the structure of interrelationships between different variables. Factor values also show the degree of correlation among variables. Each factor can be understood as a particular case of adoption of the above-mentioned farming system types, which will have different implications on landscape impacts. The threshold to decide the number of factors to be retained was the eigenvalue of 1 or more (Köbrich et al., 2003; Thapa and Rasul 2005; Iraizoz et al., 2007), because it explains at least the variance of a single variable (Jobson 1992). The factors were extracted using principal component analysis and then rotated using varimax rotation, which also avoid multicollineraty problem.

4.2.4. Farming strategies

The second part of the study was to perform a global cluster analysis in order to identify farming strategies: farmers adopting a similar strategy will be grouped in the same cluster.

Cluster analysis is a useful technique for grouping objects based on similarity measures between them. It can be characterized as a descriptive, atheoretical and non-inferential technique (Hair et al., 1999). We used the hierarchical method as it allows much greater flexibility in relation to the distance or similarity measures, and offers options for binary and count data and for subsequently specifying the number of clusters (Lesschen et al., 2005). Moreover, the tree diagram output illustrates the whole procedure sequentially, making it easier for researchers to understand the final results and add their knowledge (Hair et al., 1999). Ward's method based on Euclidean distance (Hair et al., 1999) was used because it is the one that best differentiates farming groups and minimizes the differences within the conglomerate.

The number of clusters was based on the agglomeration coefficient and the research objectives of the study in order to define significant agricultural systems from the land use and management impact point of view (Hair et al., 1999; Köbrich et al. 2003). The significance difference between cluster groups was analyzed by means of ANOVA analysis. Also, farming strategies were linked to farm policy aspects and the influence of the CAP to ascertain whether there is a relation between subsidies and the adoption of farming systems.

The last step was to create a cross-tabulated table which relates and compares the agricultural strategies adopted by farmers.

4.3. RESULTS AND DISCUSSION

4.3.1. Main agricultural trajectories in the study area (1986-2005)

This section presents the results of the factor analysis to identify the main trajectories of the agricultural activities pursued in the study area (*Table 4.2*). The 12 initial variables were reduced to three factors which explain more than 85% of the total sample variance. Factor 1 represents 39.5% of the variance, Factor 2 represents 35.0% of the variance and Factor 3 represents only 10.1% of the variance.

Table 4.2. Factor loading matrix after varimax rotation.

Landscape variable	Factor 1	Factor 2	Factor 3
RAINF_05	-0.2236	0.1780	0.9325
VINYA_05	0.9762	0.1080	-0.0476
TSYST_05	-0.0208	0.3100	0.8999
MSYST_05	0.9735	0.0523	-0.1118
MPLOT_05	0.9100	0.0990	-0.0040
RAINF_86	0.0181	0.9152	0.3282
VINYA_86	-0.0245	0.8758	0.3691
TSYST_86	-0.1393	0.7316	0.1639
MPLOT_86	0.0912	0.8425	0.1689
LUCC	0.9853	0.0774	-0.0920
RATIO	0.8679	-0.2023	-0.1291
ABAND	0.2236	0.7159	-0.2016
<i>Eigenvalue</i>	<i>4.7418</i>	<i>4.1989</i>	<i>1.2619</i>
<i>Percent of variance %</i>	<i>39.515</i>	<i>34.991</i>	<i>10.516</i>
<i>Cumulative percentage %</i>		<i>85.022</i>	

Bold numbers highlight the significant variables of each Factor

The variables are clearly grouped into three different sets (factors), which revealed that the structure of data is clearly divided into three change trends. Factor 1 shows high values for variables related to land use in 2005 and land use change between 1986 and 2005. The total area of land use change from 1986 to 2005, the area of vineyards in 2005, the mechanized agricultural land in 2005, the average plot size of farms in 2005 and the ratio of change (VINYA_05, MSYST_05, MPLOT_05, RATIO and LUCC) are highly positively correlated, with scores higher than 0.86. Therefore, Factor 1 represents the variance related to an intensification of agricultural land uses, showing that the amount of land use/cover change is strongly related to the modern mechanized farming system for vineyards.

High values for variables in Factor 2 belong to variables that represent the agricultural land use area in the past, traditional management systems existing in 1986 and the average plot size in 1986 (ABAND, MPLOT_86, VINYA_86, RAINF_86, TSYST_86). All these variables are also positively correlated with the total abandoned area during the period 1986-2005. In this respect, Factor 2 represents the abandonment of traditional land uses and management systems in Mediterranean mountain environments during the last century. Factor 3 shows a high correlation with the area of rainfed tree crops and traditional farming in 2005, indicating that the traditional farming system is still practiced by farmers cropping rainfed trees and non-mechanized vineyards.

Relations between variables in each factor are in agreement with the findings of other researchers working in the Mediterranean context. However, these researchers focussed mainly on the abandonment process in marginal regions whereas our work focuses also on land use intensification. These two processes are leading to the homogenization of Mediterranean landscape dominated either by marginalization or by a highly intensified monoculture, such as vineyards (Martínez-Casasnovas and Sánchez-Bosch, 2000) and olive trees (Allen et al., 2006).

4.3.2. General farming strategies (Global cluster analysis)

The general farming strategies derived from the cluster analysis are presented in *Figure 4.2* and *Table 4.3*. The dendrogram obtained by Ward's method (*Figure 4.2*) shows four clear isolated clusters plus two farmers with an isolated tendency (C line). Each cluster may be considered representative of a different strategy followed by farmers in the study area. The distance within the same group highlights particular cases or variations of the farming strategies in the study area. Statistics of each group are shown in *Table 3*. A more detailed interpretation of the different groups of farmers (farming strategies) is given in the sections below.

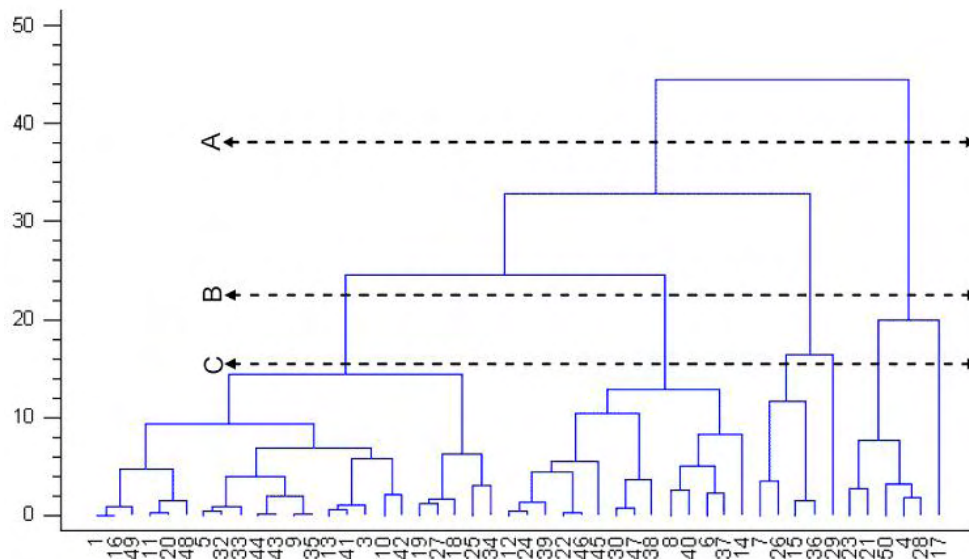


Figure 4.2. Dendrogram resulted from clustering farms according to a specific agricultural trajectory in the Priorat region (intensification process-clustering factor 1.)

Statistics of each group are shown in *Table 4.3*.

Table 4.3. Statistics of landscape variables segmented by clusters (n= number of farmers).

Landscape variable	FS1 (n=23)		FS2 (n=14)		FS3 (n=5)		FS4 (n=6)		P-VALUE*	Homogeneous groups
	mean	StDv	mean	StDv	mean	StDv	mean	StDv		
RAINF_05	0.6	0.8	2.6	2.1	0.0	0.0	7.0	3.4	0.0000	1 & 3
VINYA_05	4.5	4.0	2.7	3.3	32.2	9.8	10.2	9.9	0.0000	1 & 2
TSYST_05	1.9	1.3	3.3	2.3	2.5	1.9	11.3	2.7	0.0000	1 & 2 & 3
MSYST_05	3.2	3.4	2.1	3.4	29.7	10.7	5.9	8.9	0.0000	1 & 2 & 4
MPLIT_05	2.9	2.1	2.7	1.2	19.4	16.2	6.8	6.8	0.0000	1 & 2 & 4
RAINF_86	0.9	1.2	5.2	2.2	0.0	0.0	13.7	5.8	0.0000	1 & 3
VINYA_86	0.8	1.4	1.3	1.0	0.0	0.0	5.9	4.6	0.0000	1 & 2 & 3
TSYST_86	1.4	1.6	6.4	2.4	0.0	0.0	19.5	9.8	0.0000	1 & 3
MPLIT_86	0.9	1.1	2.0	1.2	0.0	0.0	3.1	1.1	0.0000	1 & 3 2 & 4
LUCC	3.3	3.0	1.7	2.6	29.9	11.3	7.0	9.8	0.0000	1 & 2 & 4
RATIO	1.5	1.3	0.3	0.4	9.4	3.0	0.9	1.0	0.0000	1 & 4 2 & 4
ABAND	0.8	1.4	3.3	2.1	2.8	5.7	3.8	5.2	0.0523	1 & 3 2 & 3 & 4

CAP variables	FS1 (n=23)	FS2 (n=14)	FS3 (n=5)	FS4 (n=6)
%CAP	34.8	0.0	80.0	66.7
HA_CAP	2.8	0.0	17.2	1.8

Statistics of CAP subsidies of each group of farmers have been introduced: % CAP (% of farmers receiving CAP subsidies) and HA_CAP (Mean of total subsidized ha for the farmers who have received CAP subsidies).

* Significance at the 95% confidence level

Cluster analysis has stratified groups with significant statistical differences in all variables except ABAND. Thus, the wide variability of farming strategies in the region could mask the abandon process.

A more detailed interpretation of the different groups of farmers (farming strategies) is given in the sections below:

a) *Small traditional farms with moderate intensification (FS1)*. This was the group with the largest number of farms, representing 47.9% of the total sample. It included a series of traditional farms with small mechanized areas. It was mainly dedicated to vineyard cultivation in 2005, although the farms also had some land dedicated to rainfed trees. The mean size of the vineyards was 4.5 ± 4 ha per farm in 2005 and the mechanized system predominated over traditional management (3.2 ± 3.4 ha versus 1.4 ± 1.6 ha). The amount of land that underwent changes in the study period was low within this strategy (3.3 ± 3 ha). The average plot size in 2005 was 2.9 ± 2.1 ha. The amount of land that had been abandoned (up to 1986) was lower than in 2005, and in some particular cases it was null. Standard deviation was in most cases higher than the mean value of the variables, indicating the high variance within the group. CAP subsidies only benefited 34.8% of the farmers, who received subsidies for restructuring of about 2.8 ha per farm.

b) *Small traditional farms with low intensification and land abandonment (FS2)*. FS2 represented 29% of the farmers and was a group with no crop specialization, maintaining an equal area of rainfed trees (2.6 ± 2.1 ha) and vineyards (2.7 ± 3.3 ha) in 2005, mainly following

the traditional farming system. Traditional crops, mainly rainfed trees, represented a higher area of land than mechanized vineyards (2.1 ± 3.4 ha) in 2005. The abandonment of agricultural land uses reached a rate of 3.3 ± 2.1 ha per farm during the study period. Although some of the farmers following this strategy had transformed their land in the study period, they had not received any CAP subsidies.

c) *New landowners from outside the region with large mechanized vineyards (FS4)*. This group represented only 10.4% of the farmers, but included the main landowners in the study area, with average vineyard fields of 32.2 ± 9.8 ha per farm. The strategy was mainly the modern farming system, completely specialized in vineyard cultivation (there were no rainfed trees in 2005). Traditional uses were not very relevant, as they occupied less than the 10% of the total agricultural area. This strategy was unknown in the region before 1986, and involved major changes in the period 1986-2005. Each landowner of this group had transformed an average of 29.9 ± 11.3 ha (9.4 ha year⁻¹), leading to a sudden, drastic change in the landscape of the study area. Most of these land transformations had been subsidized by the CAP, from which 80% of the landowners in this group had benefited. The amount of land subsidized was also high, with an average of 17.2 ha per farm.

d) *Traditional medium-sized farms with moderate intensification (FS3)*. This group represented 12.5% of the farmers and had a medium area of agricultural land, with a similar percentage of vineyards and rainfed trees (10.2 ± 9.9 ha and 7.0 ± 3.4 ha respectively). There was some mechanization but the traditional farming system was dominant. The average plot size was 6.8 ± 6.8 ha. It had more land dedicated to agricultural uses in 1986 than in 2005, with rainfed trees dominating over vineyards. The amount of land that underwent changes in the study period was 7 ± 9.8 ha on average but, in contrast to Cluster 4, the ratio of change was very low (0.9 ± 1 ha year⁻¹). Although 66.7% of the farmers received CAP subsidies, the land benefiting from them was only 1.8 ha, which is low in comparison with the total area.

4.3.3. Farming strategies with respect to agricultural trajectories

4.3.3.1. The intensification trajectory

This section shows the results of using individual factors to group farmers according to one of the main agricultural trajectories identified in the factor analysis process (Factor 1). *Figure 4.3* shows the results of the hierarchical cluster analysis applied by taking Factor 1 to group farmers into homogeneous groups according to their land use and management practices in 1986 and 2005. The cutting line B, which defines three homogeneous groups, was considered to be the optimum one for differentiating farming systems from this trajectory.

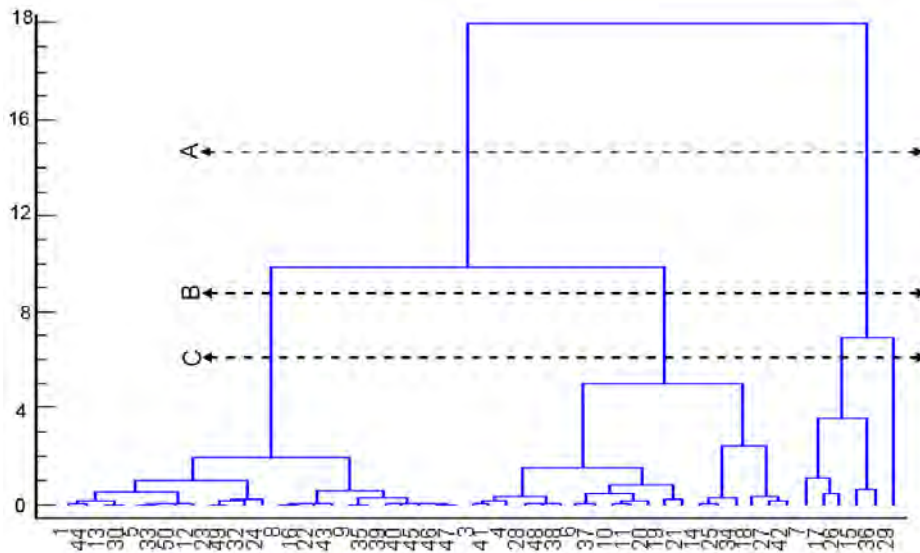


Figure 4.3. Dendrogram resulted from clustering farms according to the intensification agricultural trajectory in the Priorat region (clustering of factor 1).

The results show some anomalies. The main one corresponds to case 29 (Figure 4.3), which shows an isolated tendency. According to Hair *et al.* (1999), this is due to atypical data explained by extreme cases (big wine producers) in which a large number of hectares (e.g. 49.1 ha, case 29) have been transformed to create new mechanized vineyard plantations based on hillslope terracing. This is due to a particular farm strategy that differs from that of the rest of the farmers. These observations should not be ignored because extreme values are essential for interpreting the particular ongoing strategy that is causing the highest landscape impact. Table 4.4 shows the statistics for each cluster and the significance difference among intensified agricultural systems.

Table 4.4. Statistics of landscape variables segmented by clusters for the intensification agricultural trajectory (n= number of farmers).

Landscape variable	FSI1 (n=23)		FSI2 (n=19)		FSI3 (n=6)		P-VALUE*	Homogeneous groups
	mean	StDv	mean	StDv	mean	StDv		
RAINF_05	2.7	2.7	1.6	3.0	0.0	0.0	0.0888	1 & 2 2 & 4
VINYA_05	1.5	1.4	7.3	3.3	32.1	8.9	0.0000	none
TSYST_05	3.6	3.3	3.6	4.1	3.1	2.2	0.9514	all
MSYST_05	0.5	0.7	5.3	3.3	29.0	9.9	0.0000	none
MPLIT_05	2.1	1.8	4.0	1.7	19.6	14.8	0.0000	1 & 2
RAINF_86	3.5	3.3	3.6	4.5	4.3	9.5	0.9526	all
VINYA_86	1.1	1.2	1.7	2.0	2.6	5.8	0.4427	all
TSYST_86	4.6	3.8	4.8	5.9	6.9	15.4	0.7962	all
MPLIT_86	1.3	1.2	1.7	1.4	1.1	1.6	0.6311	all
LUCC	0.6	0.8	5.2	2.6	29.6	10.4	0.0000	none
RATIO	0.4	0.5	1.8	1.3	8.3	3.7	0.0000	none
ABAND	1.8	2.1	1.7	2.0	4.9	6.9	0.0875	1 & 2

CAP variables	FSI1 (n=23)	FSI2 (n=19)	FSI3 (n=6)
%CAP	8.7	52.6	83.3
HA_CAP	1.0	3.2	14.2

Statistics of CAP subsidies of each group of farmers have been introduced: % CAP (% of farmers receiving CAP subsidies) and HA_CAP (Mean of total subsidized ha for the farmers who have received CAP subsidies).

* Significance at the 95% confidence level

Three farming systems from the intensification trajectory were identified:

a) *Traditional farms with low intensification and crop diversification (FSI1)*. This group contain the largest number of farmers (48% of the total sample). They mainly follow crop diversification: vineyards and nut trees (almonds or hazelnuts) or olive trees. The farms are small, with a mean size of 4 ha, and a mean plot size of 2 ha. Traditional management practices usually predominate. In addition, the cultivated area in 2005 was similar to that in 1986. The average area of abandoned land per farm was 1.8 ha. However, there were some land use changes (a mean value of 0.6 ha per farm in the studied period), with a rate of change of 0.4 ha year⁻¹ per farm. These farmers were the ones who maintained the traditional management systems and the typical landscape mosaic of the Mediterranean mountain environments. Only 8.7% of these farmers had received CAP subsidies, covering only 1 ha on average.

b) *Transition farms with medium intensification and specialization (FSI2)*. These farmers (40% of the sample) were characterized by a larger area of vineyards than rainfed fruit crops, which only occupied a fifth of the total farm. Total farm size was about 8.9 ha and the mean plot size 4.0 ha. The mechanized system was also important and occupied more than half the area of the farm. Land use change was higher than in the previous group (FSI1), at more than 5 ha, but the rate of change was lower, with an average value of 1.8 ha year⁻¹. Some land abandonment was also observed but the total extension of agricultural land uses in the past (1986) was lower than

in 2005. CAP subsidies had been received by 52.6% of the farmers of this group, covering an average area of 3.2 ha.

c) *New farmers with high intensification and specialization (FSI3)*. This was the smallest group in number of farmers (12% of the total sample) but the largest in land area. They are characterized by a significance increase of plot size up to 340% (from 1,5 - 7,3 ha to 32,1 ha), that means up to 4 or 5 times the other mean plot size. These farms were completely specialized, only cultivating large areas of vineyards (an average value of 32.1 ha). The farms were also highly mechanized (more than 90% of the land was terraced), with average plots of 19.6 ha. The land transformation rate during the 1986-2005 period was 29 ha per farm (8.3 ha year⁻¹) a very high transformation rate for a mountain region. According to *Table 4.4*, the area of past agricultural land uses for this cluster can be misinterpreted since only one farm in this group owned land in the study area in 1986. The rest of the members owned no land at that time, which should be the normal result for this variable in this group. Abandonment was also observed with higher values than other groups (4.8 ha). CAP subsidies had been received by 83.3% of the farmers in this group, covering an average of 14.2 ha per farm.

4.3.3.2. The abandonment trajectory

The results of the cluster analysis for the abandonment trajectory are shown in *Figure 4.4*. Based on the significance of hillslope impacts of each group, three groups (clusters) were identified. The dendrogram (*Figure 4.4*) shows one farm (coded with number 17) that has an isolated tendency because of the high proportion of past land uses and the present mechanized systems. It was grouped within cluster 2 using Ward's procedure.

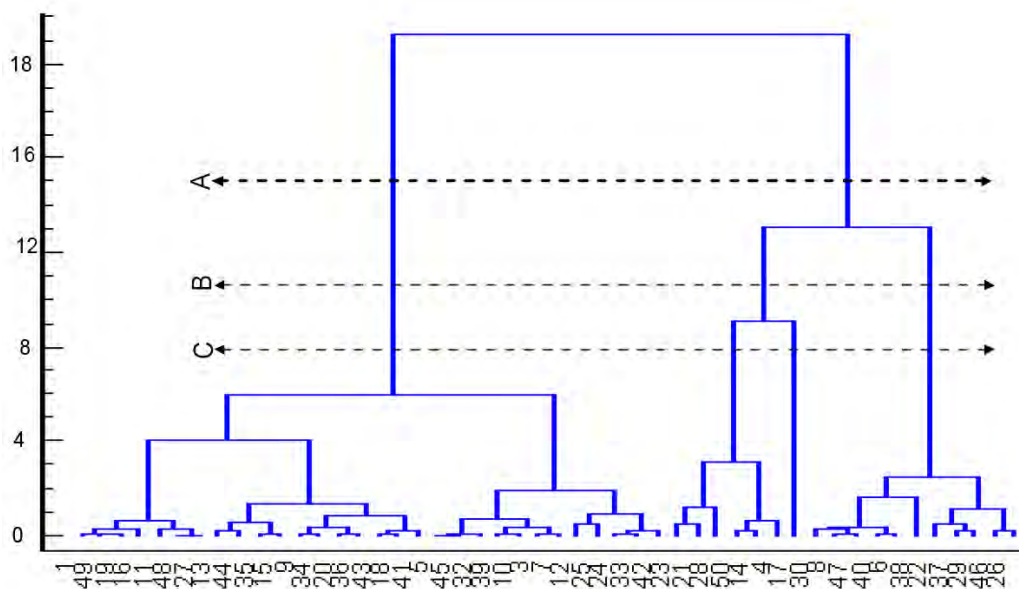


Figure 4.4. Dendrogram resulted from clustering farms according to the abandon agricultural trajectory in the Priorat region (clustering of factor 2).

The statistics of each group are shown in *Table 4.5*. All variables that were correlated to factor 2 appear as significant variables for differentiating farming abandonment strategy groups.

Table 4.5. Statistics of landscape variables segmented by clusters for the abandonment agricultural trajectory (n= number of farmers).

Landscape variable	FSA1 (n=30)		FSA2 (n=7)		FSA3 (n=11)		P-VALUE*	Homogeneous groups
	mean	StDv	mean	StDv	mean	StDv		
RAIN_05	0.9	1.3	6.0	4.0	2.1	2.2	0.0000	1 & 4
VINYA_05	6.5	8.2	10.7	9.2	8.7	15.0	0.5941	all
TSYST_05	2.3	1.6	9.7	4.7	3.1	2.4	0.0000	1 & 4
MSYST_05	5.1	7.6	7.0	8.6	7.7	14.6	0.7382	all
MPLOT_05	3.5	3.0	6.7	6.3	8.3	14.0	0.1922	all
RAIN_86	1.1	1.3	13.2	5.5	4.7	2.5	0.0000	none
VINYA_86	0.7	1.3	5.3	4.6	1.2	1.2	0.0000	1 & 4
TSYST_86	1.5	1.7	18.3	9.6	5.9	3.0	0.0000	none
MPLOT_86	1.0	1.1	3.2	1.0	1.6	1.3	0.0000	1 & 4
LUC	5.0	7.3	7.3	9.1	8.1	15.3	0.6481	all
RATIO	1.9	2.4	0.9	0.9	2.5	4.6	0.5624	all
ABAND	0.8	1.3	4.1	4.8	4.5	3.6	0.0005	3 & 4

CAP variables	FSA1 (n=30)	FSA2 (n=7)	FSA3 (n=11)
%CAP	40.0	57.1	18.2
HA_CAP	6.4	1.8	14.0

Statistics of CAP subsidies of each group of farmers have been introduced: % CAP (% of farmers receiving CAP subsidies) and HA_CAP (Mean of total subsidized ha for the farmers who have received CAP subsidies).

* Significance at the 95% confidence level

Three abandonment strategies were identified as relevant:

a) *New farms with a low area of agricultural land uses in the past and abandoned land (FSA1).* This group had the largest number of farmers included in the abandonment trajectory (63% of the total sample). It was made up of the farmers who had a very low or null area of agricultural land use in 1986, with a very small plot size (average 1 ha). The abandonment was also low, and the area of current (2005) agricultural land uses was dominated by vineyards in contrast to nut and olive trees, which had an average value of less than 1 ha. These farmers could be new in the region, as they had no past land uses but worked vineyards in 2005. CAP subsidies had been received by 40% of these farmers, covering an average of 6.4 ha per farm.

b) *Traditional farms with a large area of agricultural land uses in the past and abandoned land (FSA2).* This was the smallest group, with only 14% of the farmers. They had larger farms in the past than at present and the area of nut and olive trees dominated the agricultural activity over vineyards. The average plot size in 1986 was higher than in other groups (3.2 ha) but lower than in 2005. These farmers were the ones who mainly maintained the traditional management systems in 2005. This variable (traditional farming in 2005) showed a high correlation with the extension of rainfed tree crops in factor 3 (see Section 4.3.1), which could be explained by the low profitability of this type of land use, which has limited the transformation of the land towards a mechanized system. In this group, a large amount of land was abandoned (4.1 ha per farm). Although 57% of the farmers had received CAP subsidies, the area subsidized was only 1.8 ha.

c) *Traditional farms with a medium area of agricultural land uses in the past and a large area of abandoned land (FSA3)*. This was made up of 23% of farmers, and was the group with the largest abandonment area, with an average value of 4.5 ha per farm. It is similar to the first group (FSA1), with a low area of vineyards and small plot size in 1986. Moreover, the areas of nut and olive trees and traditional systems in 2005 were low (average values of 2.1 and 3.1 ha, respectively). The traditional land use management and rainfed tree areas in 1986 were medium size (5.9 ha and 4.7 ha, respectively). Only 18% of the farmers had received CAP subsidies.

4.3.4. Comparison between global and specific farming strategies and discussion of results

Table 4.6 summarizes the number of farmers who follow a specific combination of both intensification and abandoned trajectories. It also shows the global farming strategy cluster group for each specific farming strategy combination.

Table 4.6. *Relative frequency of farmers who follow each combination of farming systems in relation to the agricultural trajectories. Percentage of the total number of farmers sampled and global farming strategy classification.*

% of total farmers	FSA1	FSA2	FSA3
FSI1	31.2 FS1 & FS2	8.3 FS4	12.5 FS2
FSI2	25.0 FS1	4.1 FS2 & FS4	6.3 FS1
FSI3	6.3 FS3	2.1 FS4	4.2 FS3

All possible combinations were found, showing that there is no clear tendency of farmers following homogeneous abandon and intensification farming strategies. The combinations FSA1 with FSI1 or FSI2 show the highest frequency (56.2% of the total farmers). It could be related with the results from global strategy clustering that reveals no significance differences with the ABAND variable. These results confirm that the abandon and intensification processes are independent and that the intensification of some land uses, e.g. vineyards, or the incomes by CAP subsidies did not avoid the abandonment of traditional agricultural land uses in this mountain area.

Independence between intensification and agricultural processes could be explained by changes in the social composition and farmers characteristics during the last two decades and that agricultural activity uses a variety of forms of production. These findings agree with the agrarian structure in less-favoured areas, which is usually characterized by a strong heterogeneity in resource use by farms and the high variability of yield and income (Van Keulen, 2006). This adds complexity and generates diversity in the agriculture and farming systems as well as in the environmental impacts (Van Keulen, 2006; Beyene et al., 2006). Faced with multi-agricultural trajectories, a cluster of farms according to specific trajectories could give us more precise information about the ongoing process of change in land use and management in a region. In this respect, a single cluster analysis based only on the similitude of the measurement of farmer's variables could misinterpret or hide the different strategies of farmers, since cluster analysis always creates groups despite the existence of a structure in the data (Hair et al., 1999). This demonstrates the usefulness of factor analysis previous to cluster analysis, in order to correctly identify the correlation of processes that could appear masked. These findings could help to cover one of the main shortcomings of farming systems research

related to the failure to deal with the heterogeneity of farming systems within a geographic area (Köbrich et al., 2003).

On the other hand, analysis of specific agricultural trajectories shows that correlations found among variables of the identified agricultural trajectories are in concordance with findings of other researchers within the Mediterranean context (Landi, 1989; Douglas et al., 1994; Stoate et al., 2001; Kizos and Kolouri, 2006). Other works carried out in Mediterranean mountain environments have only identified the extensification (less intensive agriculture) of farming activities, leading to the abandonment of traditional practices and farmland (Garcia-Ruiz et al., 1996; McDonald et al., 2000; Lasanta-Martínez et al., 2005). This trajectory is usually due to the biophysical characteristics of uplands, which have limited farming to subsistence agriculture, leading to an important socio-economic marginalization of rural areas. The intensification has been mainly found associated with more productive, easily mechanizable land, and its aim is to increase profits (Martínez-Casasnovas and Sánchez-Bosch, 2000; Borselli et al., 2006). Researchers have claimed that the most important determinants of land use are physical environment characteristics (Thapa and Rasul, 2005). Here, we worked in a small area with homogeneous bio-physical attributes, and the intensification process results demonstrate that economic aspects have more powerful as land use drivers than bio-physical constraints.

In this region the intensification explains 40% of land use change variance. The grouping of farmers according to the intensification trajectory revealed some important findings related to landscape and environmental impacts. The main group of farmers (88% of the total sample) has maintained traditional agricultural uses and management in one way or another. These farmers were divided into two groups, FSI1 and FSI2, mainly according to the diversification of traditional crops (vineyards and nut and olive trees) and the introduction of mechanized vineyards on their farms. In contrast, a minority of farmers (12% of the total sample) (FSI3) own more than 60% of the total agricultural land that is specialized in mechanized vineyards, with traditional management being practiced in less than 10% of their fields, and a significant increase of plot size up to 340% (from 1,5 - 7,3 ha to 32,1 ha). These are new farmers (wine producers) in the region (as they did not own land in the past, 1986), who have come to the Priorat in response to the great expectations of the wine market after the recent worldwide revaluation of the wines of the region. This group of wine producers implemented the mechanized system that requires hillslope terracing and involves a complete alteration of terrain morphology. These changes that involve those negative effects, are subsidized by CAP (vineyard conversion and restructuring plans), of which FSI3 is the most favoured group (68% of total CAP subsidies received by farmers in the study area). It also demonstrates that European subsidies linked to agricultural activities have a substantial impact on farm income and on product decisions (Borget et al., 2010) and have encouraged rich farmers to overexploit land.

Regarding the abandonment trajectory, 35% of the land use analysis variance is explained by the extension of past land uses under the traditional cultivation system, which are highly correlated with the abandonment process. Mechanized systems are only related to vineyards instead of rainfed tree fruits, which still follow traditional management systems. This is explained by the high profitability of vineyards due to the revaluation of the local wine market (Figueras and Calvo, 2003). In contrast, other traditional crops have remained immersed in an economic crisis since the late 1980s. This crisis, low productivity and high costs of human labour have almost led to the total abandonment of traditional crops and practices in the study area. Nevertheless, although the main traditional agricultural land use remaining in the region are nut and olive trees, conservation of traditional vineyards is also observed due to the higher quality of wines produced by them in comparison with the ones under the mechanized system.

From the above results it is clear that the agricultural context in the area has drastically changed in the past 20 years and that the change in farming systems is having important environmental consequences, as well as spatial and social impacts (O'Rourke, 2006). As the present research shows, although some EU policies have attempted to maintain traditional agriculture in less-favoured areas (LFAs) and mountain regions, they have failed to avoid the abandonment of traditional practices and to maintain high nature value farming (Hampicke 2006; O'Rourke, 2006), and have created additional conflicts such as the over-exploitation of marginal land and further environmental degradation (Caraveli 2000; Mottet et al., 2006). As in other regions CAP policies are involving changes in the agricultural landscape by means of large farming enterprises, traditional agricultural land uses abandon, and cultivation of subsidised crop in bigger fields, consequently generating less complex and less diverse landscape (Serra et al., 2008). The agents and management strategies that have a high impact on landscape must be identified and taken into account in order to plan future sustainable management practices, avoid intensification of the landscape to the detriment of the cultural landscape and facilitate landscape conservation. To this end, policy makers and land use planners must consider the current contradictions and impacts of the CAP in less-favoured areas in order to favour sustainable practices that help to maintain the value of traditional agricultural management practices and landscapes.

4.4. CONCLUSIONS

Land use changes in the Priorat region include significant changes to traditional farming approaches. We identified the following trends:

- From 1986 to 2005, the intensification process explains the 40% of land use changes variability in the area while the abandonment process only explains the 35%.
- According to the intensification strategy, 88% of the farmers participating in the study have maintained traditional agricultural uses, divided in two groups according to the grade of mechanized system in their farms.
- Although most farms are characterized by a mosaic of traditional crops and small mechanized areas, a minority group has been classified as following a high intensification and specialization strategy based on new mechanized vineyards. They only comprise 12% of the farmers sampled but owning 61% of the new vineyard plantations in the study area and 42% of the total agricultural land. These farmers also have increased considerably the mean plot size up to 4-5 times the normal size, and most of them are new in the area.
- This group of new and minority farmers generates the highest landscape and environmental impacts and receives most of the EU subsidies: 68% of total CAP subsidies assigned to the region.
- Instead, the group with most abandoned area is only covered by 23% of the farmers sampled, with an average value of 4,5 ha per farm. They own the 48% of the total abandoned area sampled, but only receive the 18% of CAP subsidies.
- As in other less-favoured areas, the agrarian structure in the QDO Priorat is characterised by a strong heterogeneity.
- Contrary to what could be expected, factor analysis showed that the intensification process is not related with the abandonment processes. So, intensification processes taking

place in the region do not imply less abandonment of agricultural area and, in fact farmers with the highest intensification processes are the ones with more hectares of abandoned land.

- The modelling of groups based only on the similarity of farmer's variables could misinterpret or omit some important processes. In the case of coexistence of different land use strategy trends with no correlation, the application of cluster techniques for each factor strategy can help to define farm tendencies that are not visible or segmented in a single cluster.
- Surveys have been a useful tool to collect socioeconomic data and linking it to land use changes. The analysis of the influence of CAP subsidies on land use changes and other social characteristics has been important, because it captures the decision making process of farmers.
- CAP subsidies act as stimulators of intensification processes. Indeed, as the intensification process has an impact on landscape, subsidies do not take into account the environmental sustainability of the management practices in traditional landscape. The agents and management strategies that have a high impact on landscape must be identified and taken into account to plan future sustainable management strategies.
- Once intensification and abandonment processes have been identified, it is needed to say that in the Priorat region the socio-economic aspects, despite the physical environment constraints, act as the major determinant of management strategy and land use type.

2.1.4. Hauria realitzat les mateixes transformacions sense la disponibilitat de les ajudes?

1=Si 3=No, menys terreny
2= Si, major terreny 4=No, cap transformació

2.1.5. Han influenciat i en quin grau (de 0 a 5) els següents aspectes en la decisió de canvi d'ús:

- =Ajudes dels Plans de Reestructuració Agrària
- =Revalorització econòmica del vi
- =Força Inversió econòmica inicial
- =Manca de treball alternatiu
- =Facilitats de mecanització
- =Qüestions tradicionals i culturals
- =Aspectes paisatgístics

2.1.6. En el cas de presentar vinya tradicional i vinya aterassada quins són els principals motius (ordenats de major a menor) que han influenciat en la decisió de:

Elecció de vinya **tradicional** (ajudes PAC, existència de cultiu, inversió econòmica inicial, preu producte, facilitat/dificultat de maneig, mecanització, aspectes culturals, limitacions legals, qualitat de producció, quantitat de producció, altres)

Importància	Factor

Elecció de vinya **aterassada**:

Importància	Factor

2.2. TRANSFORMACIONS agrícoles en el període 1986/1998

2.2.1- Ha realitzat algun canvi en els usos del sòl en el període 1986-1998?

1 = Si 0 = No

2.2.2. Quines són les diferències entre les àrees cultivades entre el 1986 i el 1998

	El 1986 l'àrea de _____ era: 1=Major 2=Menor 3=igual comparada a l'àrea 1998 4=RDNK 5=QNA (Questions 11=0) (QNA=Questió no aplicable)
Vinya en bancals	
Vinya tradicional	
Avellaners/ametllers	
Oliveres	
Altres cultius	

FINCA				
Tipus d'ús anterior				
Tipus d'ús actual				
Hectàrees transformades?				
Any transformació				
Ha rebut subvencions dels Plans de Reestructuració de la Vinya? (núm ha.)				
Altres ajudes motivants (p.ex. Oliveres,...)				
Limitació en la transformació per alguna de les següents administracions (DOQ, DARP, DMA) (Indicar quina)				
S'han realitzat moviments de terra?				
Nous abancalaments?				
El disseny dels abancalaments es basa en: 1. Experiència maquinista 2. Disseny previ 3. Altres				
S'ha realitzat trituració de la pedra?				
S'ha efectuat instal·lació de reg				
S'han adaptat algunes mesures correctores				
Capital inicial invertit en el territori (moviments terres; preparació terreny; planació; emparrat;...)				

2.2.2 En el cas de rebre ajudes, d'on s'ha obtingut informació i gestió (Ordenar de 1 (més important) a X (menys important))

Altres agricultors: _____ Assessorament tècnic: _____ DOQ: _____

DARP: _____ Altres (indicar quins): _____

2.2.3. Quins aspectes ordenats de major a menor han influït en la decisió de canvi d'ús:

- =Ajudes dels Plans de Reestructuració Agrària
- =revalorització econòmica d'altres productes
- =Inversió econòmica inicial
- =manca de treball alternatiu
- =Facilitats de mecanització
- =Qüestions tradicionals i culturals
- =Aspectes paisatgístics

3.1. Podria especificar la utilització de les ENTRADES indicades en els següents anys:

Entrades (en volum)	2005	1998 era 0. no 1. major 2. menor 3. igual 4. ENC comparat 2005	1986 era 0. no 1. major 2. menor 3. igual 4. ENC comparat 2005
Fertilitzants/adobs			
Herbicides			
Insecticides			
Fungicides			

3.2. Podria indicar el COST de PRODUCCIÓ/ha ANUAL (sense considerar inversió inicial ni mà d'obra)

Cultius	2005	1998 en comparació al _____ va ser 1. Major 2. Menor 3. Igual 4. cultiu no cultivat 5. ENC	1986 en comparació al _____ va ser 1. Major 2. Menor 3. Igual 4. cultiu no cultivat 5. ENC
Vinya en bancals			
Vinya tradicional			
Avellaners/ ametllers			
Oliveres			
Altres			

4.- PRODUCCIÓ AGRÍCOLA

Podria estimar la producció total dels següents cultius:

Cultius	2005	1998 la producció en comparació al ___ va ser 1. Major 2. Menor 3. Igual 4. cultiu no cultivat 5. ENC	1986 la producció en comparació al ___ va ser 1. Major 2. Menor 3. Igual 4. cultiu no cultivat 5. ENC
Vinya en bancals			
Vinya tradicional			
Avellaners/ ametllers			
Oliveres			
Altres			

5.- PREU DEL PRODUCTE

Podria estimar la producció total dels següents cultius:

Cultius	2005	1998 el preu del producte en comparació al _____ va ser 1. Major 2. Menor 3. Igual 4. cultiu no cultivat 5. ENC	1986 el preu del producte en comparació al _____ va ser 1. Major 2. Menor 3. Igual 4. cultiu no cultivat 5. ENC
Vinya en bancals			
Vinya tradicional			
Avellaners/ ametllers			
Oliveres			
Altres			

6.- ESTRATÈGIA COMERCIAL

Indicar el destí comercial de la porporció:

Codi ventes:

1=Cap 2=Menys de la meitat 3=meitat 4=Més de la meitat 5=Total 6= QNC

	Venda empresa Privada			Venda Cooperativa			Producció pròpia		
	2005	1998	1986	2005	1998	1986	2005	1998	1986
Vinya en bancals									
Vinya tradicional									
Avellaners/ ametllers									
Oliveres									
Altres									

7.- Comparació dels BENEFICIS econòmics OBTINGUTS

Indica beneficis que el propietari obté pel 2005. Si no sap, en últim terme suggereix codificació en una escala categorica de 1 a 5, (5=excel·lent benefici econòmic; 4=molt bo; 3=bo; 2=regular; 1=baix; 0=ni guanys ni perdua; -1=baixa perdua econòmica; -2=regular pèrdua econòmica; -3=bona pèrdua; -4=elevada pèrdua; -5=molt elevada pèrdua econòmica)

Beneficis	2005	1998 els beneficis de _____ van ser 1. Majors 2. Menors 3. Iguals 4. cultiu no venut 5. QNC	1986 els beneficis de _____ van ser 1. Majors 2. Menors 3. Iguals 4. cultiu no venut 5. QNC
Vinya en bancals			
Vinya tradicional			
Avellaners/ ametllers			
Oliveres			
Altres			

INFORMACIÓ PERFIL *HOUSEHOLD*

8. TIPUS explotació:

1= Familiar 2 = Empresarial

9. GÈNERE del propietari:

1 = Home 2 = Dona 3=Empresa

10. EDAT: _____

11. Anys DEDICATS a l'agricultura: _____

12. La PROPIETAT de les terres és:

1= propietat 2= arrendades 3= públiques

13. La PROPIETAT es vas obtenir:

1= compra 2= herència 3= arrendament 4= altres

14. El propietari de la explotació TREBALLA directament les terres?

1=Si 0=No

15. Tradició FAMILIAR directa (pares):

1=Si 0=No 2=Altres membres directes (avis, oncles,...)

16. Nivell EDUCATIU del propietari en temes agrícoles

1= Cap 2= Elemental 3 = Secundaris/educació tècnica 4 = Universitaris

17. ESTATUS en la regió DOQ Priorat

1 = Nascut i resident 2 = Resident 3= Segona residència 4=Sols parcel·les

18. Reb algun tipus d'assessorament tècnic?

1= Si 0=No

18.1. Font d'assessorament TÈCNIC (Ordenar de 1 (més important) a X (menys important)):

Altres agricultors: _____ Tècnics contractats: _____ DOQ: _____

DARP: _____ Altres (indicar quins): _____

19. Nombre de persones vivint en la mateixa CASA:

_____nois edat: _____

_____noies edat: _____

20. Possibles SUCCESSORS:

1= Si 0=No 3=es dediquen a altres feines

21. Ocupació LABORAL:

Codi Ocupació:

1=agricultura	6=comerç
3=indústria agroalimentària	7=administració pública
4=turisme rural	8=retirat
2=indústria altres	9=altres
5= turisme altres	

21.1. 2005:

21.1.1. Principal ocupació del propietari? _____

21.1.2. Quines altres activitats laborals desenvolupa (*HeadHH*): _____

21.1.3. Es desenvolupen dins la DOQ Priorat (*HeadHH*)? 1 = Si 0 = No

21.1.4. Altres fonts d'ingresos econòmiques familiars? _____

21.1.5. Quin percentatge dels ingressos econòmics anuals a nivell familiar representa l'agricultura?

0-25% 25-50% 50-75% 75-100% 100%

21.2. 1998; Han canviat les condicions laborals des de 1998?

1 = Si 0 = No [Si la resposta és Si respondre 10.2.X, sino respondre 10.3]

21.2.1. Quina era la principal ocupació del propietari el 1998? _____

21.2.2. Quines altres activitats laborals desenvolupava (*HeadHH*): _____

21.2.3. Es desenvolupaven dins la DOQ Priorat (*HeadHH*)? 1 = Si 0 = No

21.2.4. Altres fonts d'ingresos econòmiques familiars? _____

21.2.5. Quin percentatge dels ingressos econòmics anuals a nivell familiar representen l'agricultura? O bé les explotacions agrícoles incloses en la DOQ Priorat?

0-25% 25-50% 50-75% 75-100% 100%

21.3. 1986; Han canviat les condicions laborals des de 1986? Quina era el 1986?

1 = Si 0 = No [Si la resposta és Si respondre 10.2.X, sino respondre 10.3]

21.3.1. L'agricultura representava la principal ocupació del propietari? _____

21.3.2. Quines altres activitats laborals desenvolupava (*HeadHH*): _____

21.3.3. Es desenvolupaven dins la DOQ Priorat (*HeadHH*)? 1 = Si 0 = No

21.3.4. Altres fonts d'ingresos econòmiques familiars? _____

21.3.4. Quin percentatge dels ingressos econòmics anuals a nivell familiar representava l'agricultura?

22. Creus que trobar altres OPORTUNITATS de treball és:

Oportunitats de treball	2005: 1. Fàcil 2. Difícil 3. Intermig	1998 era 1. més fàcil 2. més difícil 3. igual 4. ENC comparat al 2005	1986 era 1. més fàcil 2. més difícil 3. igual 4. ENC comparat al 2005
Dins la regió DOQ Priorat			
For a la DOQ Priorat			

23.- Inputs LABORALS

En aquesta taula es tracta d'entendre la importància i el tipus de les forces laborals utilitzades en la parcel·la i la variació des dels canvis econòmics.

Entrades laborals		2005	1998 era 1. major 2. menor 3. igual 4. ENC	1986 era 1. major 2. menor 3. igual 4. ENC
Persones del nucli familiar	Annual			
	Temporal			
Altres externs amb salari	Annual			
	Temporal			
Col·laboradors (no asalariats)	Annual			
	Temporal			

24. EQUIPAMENT agrícola en propietat

Podria dir-nos si poseeix algun dels següents equipaments agrícoles en els següents anys:

Equipament agrícola	2005	1998 era 0. no 1. major 2. menor 3. igual	1986 era 0. no 1. major 2. menor 3. igual
Tractor +			
Altres eines			

25. Es discuteixen els problemes amb altres agricultors?

25. En el cas de presentar terreny FORESTAL; quins són els principals motius que limiten el cultiu o canvi d'ús de les parcel·les?

26. PERCEPCIÓ futura

26.1. En la situació actual, quin dels següents cultius plantaries en un futur pròxim?

Cultius	
Vinya aterassada	
Vinya tradicional	
Avellaners	
Ametllers	
Oliveres	
Altres (quin?)	

26.2. Quins són els principals limitants pels canvis d'usos?

1=Inversió econòmica 2=manca oportunitats (mercat) 3= limitacions legals

26.3. Creus viable l'augment de producció pel seu futur econòmic? 1= Si 2=No 3=ENC

26.4. Quins són els principals factos que condicionen el desenvolupament agrícola?

1=Dificultats orogràfiques 2=Preus 3= Manca oportunitats 4=Capital inversor
5=Desconeixement del territori i gestió 6=Altres

CONTINUACIÓ PER ABANDONAMENT

26. CANVIS en els USOS I COBERTES del sòl

26.1.- Quin va ser l'any d'abandonament i la superfície?

FINCA	Any	Superfície

26.2. Quins van ser els principals factors que van influir en l'abandonament agrícola?

26.3. Quins van ser els principals limitants per a una contunitat agrícola?

1=Dificultats orogràfiques 2=Preus 3= Manca oportunitats
4=Capital inversor 5=_____

4.6. REFERENCES

- Allen H.D., Randall R.E., Amable G.S., Devereux B.J., 2006. The impact of changing olive cultivation practices on the ground flora of olive groves in the Messara and Psiloritis regions, Crete, Greece. *Land Degradation and Development*, 17, 249-273.
- Belfrage K., Björklund J., Salomonsson L., 2006. The Effects of Farm size and organic farming on diversity of birds, pollinators, and plants in Swedish landscape. *Ambio*, 34, 582-588.
- Beyene A, Gibbon D, Haile M, 2006. Heterogeneity in land resources and diversity in farming practices in Tigray, Ethiopia. *Agricultural Systems*, 88, 61-74.
- Borges P.J., Fragoso R., Garcia-Gonzalo J., Borges J.G., Marques S., Lucas M.R., 2010. Assessing impacts of Common Agricultural Policy changes on regional land use patterns with a decision support system: An application in Southern Portugal. *Forest Policy and Economics*, 12, 111-120.
- Borselli L., Torri D., Øygarden L., De Alba S., Martínez-Casasnovas J.A., Bazzoffi P., Jakab G., 2006. Land levelling. In Boardman, J. and Poesen, J. (Editors.), *Soil erosion in Europe*. John Wiley and Sons, Chichester, pp. 643-658.
- Caraveli H, 2000. A comparative analysis on intensification and extensification in mediterranean agriculture: Dilemmas for LFAs policy. *Journal of Rural Studies*, 16, 231-242.
- Clarke M.L. and Rendell H.M., 2000. The impact of the farming practice of remodelling hillslope topography on badland morphology and soil erosion processes. *Catena*, 40, 229-250.
- Cots-Folch R., Martinez-Casasnovas J.A., Ramos M.C., 2006. Land terracing for new vineyard plantations in the north-eastern Spanish Mediterranean region: Landscape effects of the EU council regulation policy for vineyards' restructuring. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 115, 88-96.
- Donald P.F., Sanderson F.J., Burfield I.J., van Bommel F.P.J., 2006. Further evidence of continent-wide impacts of agricultural intensification on European farmland birds, 1990–2000. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 116, 189-196.
- Douglas T.D., Kirkby S.J., Critchley R.W., Park G.J., 1994. Agricultural terrace abandonment in the Alpujarra, Andalucia, Spain. *Land Degradation & Rehabilitation*, 5, 281-291.
- Douglas T.D., Critchley D., Park G., 1996. The deintensification of terraced agricultural land near Trevélez, Sierra Nevada, Spain. *Global Ecology and Biogeography*, 5, 258-270.
- Dunjo G., Pardini G., Gispert M., 2003. Land use change effects on abandoned terraced soils in a Mediterranean catchment, NE Spain. *Catena* 52, 23-37.
- FAO, 2001. Food and Agriculture Organization of the United Nations. *Farming Systems and Poverty. Improving Farmers' Livelihood in a Changing World*. FAO and World Bank, Rome and Washington D.C.
- Figueras A. and Calvo J., 2003. *El Priorat, la vinya i el vi. Carrutxa i Centre de Promoció de la Cultura Popular i Tradicional Catalana* (Departament de Cultura. Generalitat de Catalunya), Barcelona, Spain.
- Fonseca F, 2006. Balance hídrico en suelos pedregosos con viña de secano en el Priorat (Cataluña). Efectos por cambio de manejo y clima. PhD Thesis, University of Lleida, Lleida, Spain.

- Gallart F., Llorens P., Latron J., 1994. Studying the role of old agricultural terraces on runoff generation in a small Mediterranean mountainous basin. *Journal of Hydrology*, 159, 291-303.
- García-Ruiz J.M., Lasanta T., Ruiz-Flano P., Ortigosa L., White S., González C., Martí C., 1996. Land-use changes and sustainable development in mountain areas: a case study in the Spanish Pyrenees. *Landscape Ecology*, 11, 267-277.
- Hair J., Anderson E., Tathan R., Black W., 1999. *Análisis multivariante*. Prentice Hall., Madrid.
- Hampicke U., 2006. Efficient conservation in Europe's agricultural countryside. *Outlook on Agriculture*, 35, 97-150.
- IDESCAT, 2012. Institut d'Estadística de Catalunya. <http://www.idescat.cat/>
- Lorent H., Evangelou C., Stellmes M., Hill J., Papanastasis V., Tsiourlis G., Roeder A, Lambin E.F., 2008. Land degradation and economic conditions of agricultural households in a marginal region of northern Greece. *Global and Planetary Change*, 64 (3–4), 198-209.
- Iraizoz B., Gorton M., Davidova S., 2007. Segmenting farms for analysing agricultural trajectories: A case study of the Navarra region in Spain. *Agricultural Systems*, 93, 143-169.
- Jiménez-Delgado M., Martínez-Casasnovas J.A, Ramos M.C., 2004. Land transformation, land use changes and soil erosion in vineyard areas of NE Spain. In: Kertész, A., Kovács, A. Csuták, M., Jakab, G., Madarász, B. (Eds.), *Proceedings Volume of the 4th International Congress of the ESSC*. Hungarian Academy of Sciences, Geographical Research Institute, Budapest, Hungría, pp. 192–195.
- Jobson JD, 1992. *Applied multivariate data analysis*. Springer, New York.
- Jongman R.H.G., 2002. Homogenisation and fragmentation of the European landscape: Ecological consequences and solutions. *Landscape Urban and Planning*, 58, 211-221.
- Kizos T. and Koulouri M., 2006. Agricultural landscape dynamics in the Mediterranean: Lesvos (Greece) case study using evidence from the last three centuries. *Environmental Science and Policy*, 9, 330-342.
- Kleijn D., Berendse F., Smit R., Gilissenet N., 2001. Agri-environmental schemes do not effectively protect biodiversity in Dutch agricultural landscapes. *Nature*, 413, 723–725.
- Köbrich C., Rehman T., Khan M., 2003. Typification of farming systems for constructing representative farm models: two illustrations of the application of multi-variate analyses in Chile and Pakistan. *Agricultural Systems*, 76: 141-157.
- Landi R., 1989. Revision of land management systems in Italian hilly area. In: Schhwertmann U, Rickson RJ, Auwerswald K (eds.), *Soil erosion protection measures in europe*. Soil Technology Series, Catena Verlag, Cremlingen, Germany, pp. 175-188.
- Lasanta-Martinez T., Vicente-Serrano S.M., Cuadrat-Prats J.M., 2005. Mountain Mediterranean landscape evolution caused by the abandonment of traditional primary activities: a study of the Spanish Central Pyrenees. *Applied Geography*, 25, 47-65.
- Lesschen J.P., Verburg P.H., Staal S.J., 2005. Statistical methods for analysing the spatial dimension of changes in land use and farming systems. *LUCC Report Series n° 7*. Available at: <http://www.geo.ucl.ac.be/LUCC/lucc.html>
- Margalef J. and Tasiás J., 1985. *El Priorat. Anàlisi d'una crisi productiva*. Caixa d'Estalvis de Catalunya, Barcelona, Spain.

- Martinez-Casasnovas J.A., Sanchez-Bosch I., 2000. Impact assessment of changes in land use/conservation practices on soil erosion in the Penedès-Anoia vineyard region (NE Spain). *Soil Tillage Research*, 57, 101-106.
- Maton L., Leenhardt D., Goulard M., Bergez J., 2005. Assessing the irrigation strategies over a wide geographical area from structural data about farming systems. *Agricultural Systems*, 86, 293-311.
- MacDonald D., Crabtree J.R., Wiesinger G., Dax T., Stamou N., Fleury P., Gutierrez Lazpita J., Gibon A., 2000. Agricultural abandonment in mountain areas of Europe: environmental consequences and policy response. *Journal of Environment Management*, 59, 47-69.
- Mottet A., Ladet S., Coque N., Gibon A., 2006. Agricultural land-use change and its drivers in mountain landscapes: A case study in the Pyrenees. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 114, 296-310.
- Müller D., Kuemmerle T., Rusu M., Griffiths P., 2009. Lost in transition: determinants of post-socialist cropland abandonment in Romania. *Journal of Land Use Science* , 4 (1-2), 109-129.
- O'Rourke E., 2006. Changes in agriculture and the environment in an upland region of the Massif Central, France. *Environmental Science and Policy*, 9, 370-375.
- Ramos M.C., Cots-Folch R., Martinez-Casasnovas J.A., 2007. Sustainability of modern land terracing for vineyard plantation in a Mediterranean mountain environment - The case of the Priorat region (NE Spain). *Geomorphology*, 86, 1-11.
- Rasul G., Thapa G.B., Zoebisch M.A., 2004. Determinants of land-use changes in the Chittagong hill tracts of Bangladesh. *Applied Geography*, 24, 217-240.
- Renwick A., Jansson T., Verburg P.H., Revoredo-Giha C., Britz W., Gocht A., McCracken D., 2013. Policy reform and agricultural land abandonment in the EU. *Land Use Policy*, 30 (1), 446-457.
- Rindfuss R.R., Walsh S.J., Mishra V., Fox J., Dolcemascolo G.P., 2003. Linking household and remotely sensed data : methodological and practical problems. In : Fox J., Rindfuss R.R., Walsh S.J., Mishra V. (Editors). *People and the Environment. Approaches for linking household and community surveys to remote sensing and GIS*. Boston: Kluwer Academic Publisher, 319 pp.
- Roigé X., 1988. El priorat: Conreu de la vinya, tècniques vinícoles i organització social. *L'Avenç*, 111, 16-21.
- Santiphop T., Shrestha R.P., Hazarika M.K., 2012. An analysis of factors affecting agricultural land use patterns and livelihood strategies of farm households in Kanchanaburi Province, Thailand. *Journal of Land Use Science*, 7 (3), 31-348.
- Stoate C., Boatman N.D., Borralho R.J., Carvalho C.R., Snoo G.R., Eden P., 2001. Ecological impacts of arable intensification in Europe. *Journal of Environment Management*, 63, 337-365.
- Tanrivermis H., 2003. Agricultural land use change and sustainable use of land resources in the mediterranean region of Turkey. *Journal of Arid Environments*, 54, 553-564.
- Thapa G.B., Rasul G., 2005. Patterns and determinants of agricultural systems in the Chittagong Hill Tracts of Bangladesh. *Agricultural Systems*, 84, 255-277.
- Van Keulen H., 2006. Heterogeneity and diversity in less-favoured areas. *Agricultural Systems*, 88, 1-7.

Walsh S.J., Crawford T.W., Welsh W.F., Crews Meyer K.A., 2001. A multiscale analysis of LULC and NDVI variation in Nang Rong district, northeast Thailand. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 85, 78-84.

Zalidis G., Stamatiadis S., Takavakoglou V., Eskridge K., Misopolinos N., 2002. Impacts of agricultural practices on soil and water quality in the Mediterranean region and proposed assessment methodology. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 88, 137-146.

5. LAND TERRACING FOR NEW VINEYARD PLANTATIONS

Chapter 5

LAND TERRACING FOR NEW VINEYARD PLANTATIONS

ABSTRACT

This chapter tackles several aspects that the modern land terracing/vineyard system has initiated in the Priorat: a) the assessment of the terrain morphology changes due to land terracing (volumes of soil displaced, slope morphology and slope degree changes), b) related geomorphological effects, and c) an analysis of the cost of the restructuring operations, mainly land terracing, subsidized by the EU policy for vineyards' restructuring. In this respect, the effects of this policy are discussed. The results show that modern land terracing methods produce huge material displacements (about $9.460 \pm 900 \text{ Mg ha}^{-1}$). These figures approximate the range of catastrophic natural mass movements and confirm land terracing as an anthropic geomorphic processes which is rapidly reshaping the terrain morphology. Land terracing costs, which represent 34% of the total costs for a new terraced vineyard, is the operation which receives the maximum EU subsidy. This has encouraged vine growers in the Priorat region to create new terraced plantation against traditional systems. Also, bad design of terraces has led to the collapse of benches and borders, affecting about 3,5% of the newly-planted area. These effects question the suitability of the EU CAP for vineyard restructuring in Mediterranean mountain environments, revealing that although farmers comply with environmental protection requirements, CAP support is not accomplishing the objectives for which was conceived: the protection of the environment by the reduction of impacts of the agricultural activities.

Keywords: land terracing, land use change, vineyards' restructuring, landscape effects, EU Policy

Published in:

- Cots-Folch, R., Martínez-Casasnovas, J.A., Ramos, M.C. 2006. Land terracing for new vineyard plantations in the north-eastern Spanish Mediterranean region: Landscape effects of the EU Council Regulation policy for vineyards' restructuring. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 115, 88-96.
- Martínez-Casasnovas JA, Ramos MC, Cots-Folch R. 2010. Influence of the EU CAP on terrain morphology and vineyard cultivation in the Priorat region of NE Spain. *Land Use Policy*, 27, 11-21.

5.1. INTRODUCTION

The agricultural areas of Europe have undergone major changes since the advent of mechanization in the 1950s and the establishment of the EU Common Agricultural Policy (CAP) (Tanrivermis, 2003; Borselli et al., 2006; Hooke, 2006). In Spain, the CAP has been a driving force for agricultural development since the succession to the European Union in 1986 (Faulkner et al., 2003). Two main land use change dynamics have occurred in relation to the European policy (Oñate and Peco, 2005): the expansion and intensification of agriculture in highly productive irrigated land, and both intensification and abandonment of agricultural practices, as well as sudden changes in crop choices following the more rewarding EU subsidies, in dry lands. The effects of the CAP subsidies have been diverse, according to the broad scope of land uses, climatic, environmental and economic conditions represented within Spain. Oñate and Peco (2005), who reconstructed the effects of past policies on desertification in the Guadalentín basin (Almería, Spain), showed that from 1986 the CAP clearly helped to expand and intensify dry land agriculture in the hills, with renewed ploughing-up and levelling of abandoned zones for cultivation of winter cereals or plantation of new almond or olive orchards. In some cases, as in other Mediterranean regions has occurred, this has been particularly harmful for erosion (Kosmas et al., 1997; Faulkner et al., 2003; van Wesemael et al., 2003), since traditional soil conservation structures were removed to achieve larger and mechanized fields (Martínez-Casasnovas and Sánchez-Bosch, 2000; Oñate and Peco, 2005). Particular negative effects on land degradation have been reported in relation to the 1992 EU CAP reform aimed at promoting convergence between EU agricultural and environmental policies. In some areas (e.g. the south of Spain), this reform was interpreted more as a means to furthering profit through the expansion of plantation arboriculture (e.g. olives) in poorly developed rural areas, than as a means to protecting the environment (Faulkner et al., 2003). Another measure of this reform, the set-aside program to decrease cereal production, had varying effects in different parts of Europe with an increase of erosion in Mediterranean regions (Boellstorff and Benito, 2005; Piccarreta et al., 2006). From a different perspective, other researchers have reported beneficial effects of subsidies, as the avoiding of depopulation of some rural areas, allowing communities to maintain farming activities, and favouring small enterprises linked to tourist activities (Lasanta and Marín-Yaseli, 2007).

In the context of Mediterranean rural areas, where the cropping of vineyards plays an important socioeconomic function, wine producers have taken advantage of new wine market demands and CAP reforms to adapt their production potential of the land to the market evolution. This is the case of most of the Mediterranean mountain environments traditionally devoted to subsistence farming, which in the recent past suffered abandonment and marginalization of agricultural land uses (Caraveli, 2000; Busch, 2006). Most of these traditional uses are cultivated in terraces of bench type with stone walls. They needed a large amount of labour since they were built and maintained by hand. Their main function is soil conservation, accomplished by reducing slope on the cultivated land and allowing run-off from the upper side of the terrace to spread out and infiltrate on the bench portion. This terracing system did not produce a significant topographic transformation of the landscape, since it not involve cutting and filling works.

In these areas the new market opportunities, marketing techniques and restructuring policies are encouraging the extension and conversion of traditional crops such as olives and vines, and the replacement of traditional low-intensity production systems with farming systems based on high

technology and mechanization (Martínez-Casasnovas and Sánchez-Bosch, 2000; Faulkner et al., 2003; Allen et al., 2006).

The intensification of agriculture in these mountain environments requires land levelling and terracing (Zalidis et al., 2002; Borselli et al., 2006). This reduces some of the morphological limitations of hillslopes for agriculture, favours the mechanization of tillage operations and reduces labour. However, levelling and terracing are leading to rapid and irreversible changes in soil properties and land morphology whose consequences are as yet unknown. Several authors have reported on the repercussions of land levelling operations (e.g. Martínez-Casasnovas and Sánchez-Bosch, 2000; Lundekvam et al., 2003; Faulkner et al., 2003; Jiménez-Delgado et al., 2004; Borselli et al., 2006; Piccarreta et al., 2006). One of the best examples of extensive land levelling promoted by agricultural policies is Norway (Lundekvam et al., 2003), where land levelling was introduced during the 1970s to increase grain production and ravine landscapes were transformed into arable land. As a consequence, soil erosion increased, leading in the early 1990s to the introduction of several types of subsidy to encourage more sustainable agriculture (Lundekvam et al., 2003). In Hungary, Italy, Portugal and Spain the objective of land levelling and terracing has been the mechanization of vineyards or olive groves on sloping terrain (Jiménez-Delgado et al., 2004; Borselli et al., 2006). Some negative effects after those operations have been reported, such as an increase in soil loss from 10.8 to 25% of the land in the Penedès vineyard region (NE Spain) (Martínez-Casasnovas and Sánchez-Bosch, 2000), an average increase of 26.5% in the annual soil loss in levelled vineyard fields (Jiménez-Delgado et al., 2004), and irregular soil depth and alteration of natural soil drainage and soil hydrological properties (Ramos and Martínez-Casasnovas, 2006). In other cases, if not accompanied by preventative measures, the modification of slope morphology by levelling can destabilize the equilibrium along the slope (Torri et al., 2002), leading to the replacement of a rill network by gullies or an increase in shallow mass movements (Borselli et al., 2006). In Italy, particularly in Tuscany, vineyard plantations increased by 90.000 ha from 1968 to 1975. Here soil movement due to land levelling was estimated at 300 Mg ha⁻¹ year⁻¹ (Borselli et al., 2002).

Land levelling or terracing are not well regulated by either specific or environmental laws, so their design and implementation are normally determined by the field owner or the person in charge of the machinery and no technical guidance is available (Borselli et al., 2006). In addition, land transformation operations are usually not or scarcely regulated by environmental impact laws. To a large extent, levelling or terracing escape any environmental or legal controls. For example, in Spain modification 6/2001 of the Environmental Impact Law (RD 1302/1986, 28/06/86) states that the transformation of non-cultivated areas with natural vegetation on sloping terrain must be accompanied by an impact assessment study, including all the necessary measures to preserve the topsoil. However, owners can transform up to 50 ha without an environmental impact assessment declaration, so levelling and terracing are largely uncontrolled.

A clear example of this situation is the Priorat region (Catalonia, NE Spain). This wine producing area traditionally had vineyards with terracing systems limited to small stone walls (*Figure 5.1*). The maximum zenith of vineyards was in the late 18th and 19th centuries, when vineyards occupied 74% of the land (Morera, 1915). During the first half of the 20th century, a crisis in the agricultural sector resulted in the depopulation of rural area and concomitantly deintensification and abandonment of agricultural land (Douglas et al., 1994, 1996; Lasanta et al., 2001). This situation was only partially overcome in the Priorat in the 1990's, when a small group of producers introduced new vinification and marketing techniques, which pushed the wines towards the top of the international market.

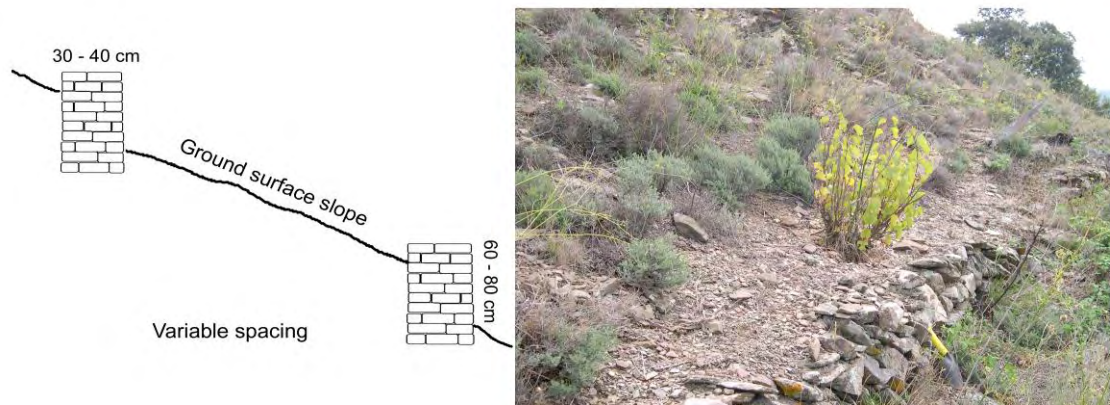


Figure 5.1. Example of stone walls that composed the terracing system in the Priorat region in the past.

The expansion of vineyards was stimulated by the EU Common Agricultural Policy through the restructuring and conversion plans (Commission Regulation EC No 1227/2000 of 31st May 2000, which specifies detailed rules for the application of Council Regulation EC (1493/1999) as regards production potential). The main objective of these plans is to adapt production to market demand. The policy considers both compensation for the loss of earnings during the period of conversion and for conversion measures itself. The subsidized measures (up to 50% of the cost or 75% in regions classified as Objective 1) include varietal conversions, relocation of vineyards or improvements of vineyard management techniques. Among those measures, the ones with the greatest impacts on the landscape are actions included in the relocation of vineyards package, and in particular new mechanized terrace construction.

In this chapter, several aspects of the changes that this modern land terracing system is introducing in the Priorat region are tackled:

- a) the assessment of the terrain morphology changes due to land terracing (volumes of soil displaced, slope morphology changes and slope degree changes), based on a sample field,
- b) related geomorphological risks, quantification of the area affected associated to new terraced systems and the damage caused to plants and field infrastructures based on field observations, and
- c) the analysis of the cost of the restructuring operations, mainly land terracing, that are subsidized by the EU policy for vineyards' restructuring; in this respect, the effects of this policy are also discussed.

5.2. MATERIAL AND METHODS

5.2.1. Study area characteristics

The analysis of land use changes and the impacts of the modern land terracing system for new vineyard plantations were carried out in the Municipality of Porrera (Priorat, NE Spain), located between UTM 31n T coordinates: East 313.375 – 325.906, North 4.560.119 – 4.565.062. Porrera's climate is Mediterranean temperate with a continental influence, having an average annual temperature of 15°C (ranging from 6°C to 23°C). Average rainfall ranges from 450 to 650mm, concentrated in spring and autumn.

A sample field of 14,3 ha (*Figure 5.2*) was selected to study the impacts of the new land terracing system. This field's elevation ranges from 290 to 478 m, with an average slope of 49,6%. Average slopes in the municipality are $46\% \pm 17$. The main land use on the sample field is terraced vineyard (12,3 ha). There are other minor uses: traditional vineyard 0,6 ha, forest 0,8 ha, scrubland 0,4 ha and rainfed trees 0,2 ha. Mechanized terracing was carried out between 2000 – 2003 using retroexcavators and bulldozers, following the usual criteria and methodology for new land transformations in the Priorat region. That is: the terraces are of the linked bench type (Landi, 1989) developed in the field without plans. The construction is based on the expertise of the retroexcavator driver. The number of terraces, the spacing between terraces and the slope of the riser depend on the slope of the original ground surface and the target width of the bench, about 2,5 m, which allows 2 vine rows per bench. All these characteristics make the selected field a typical location allowing us to extrapolate the results to the sample municipality.

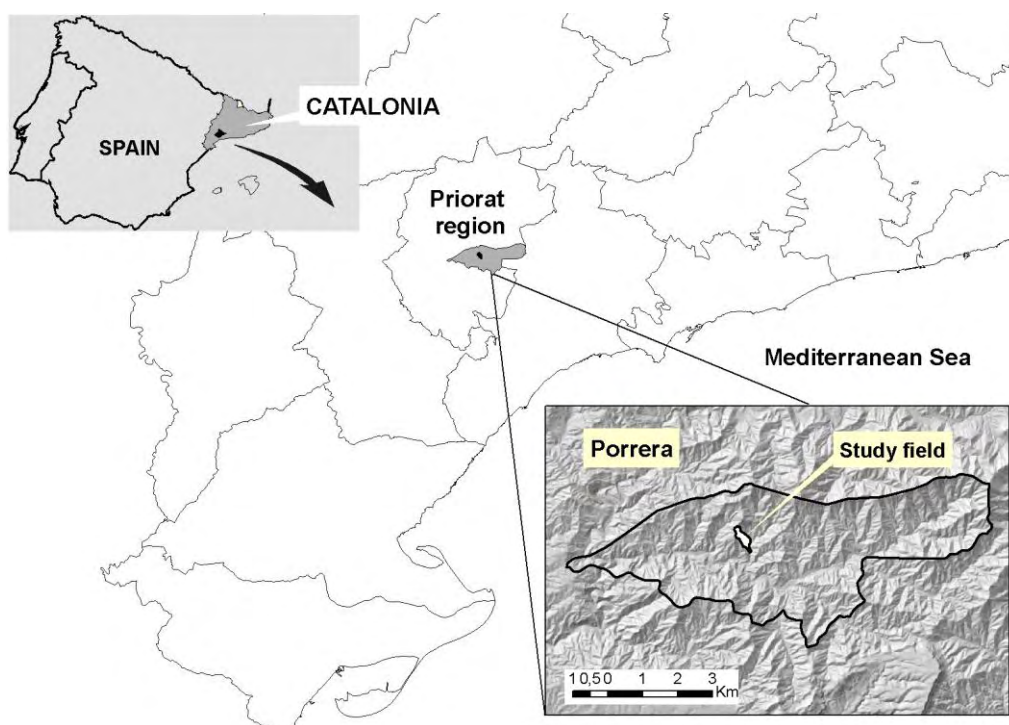


Figure 5.2. Location of the study area

5.2.2. Traditional versus modern farming systems

At present, two main types of farming system coexist in the study area: traditional and modern ones. The traditional farming system is based on hillslope cultivation (usually with slopes steeper than 50%) with or without handmade stone terraces. The purpose of the terraces is to reduce soil and water losses and slope to facilitate cultivation and the transit of persons or animals to perform crop operations (*Figure 5.3*). The implementation of this terracing system does not lead to significant changes in the terrain morphology, since it does not involve the building of level or nearly level benches, for which a large amount of cutting, filling and power is required.



Figure 5.3. Traditional hillside vineyard with stone walls in the Priorat region.

During the first half of the 20th century the region became depopulated due to a crisis in the agricultural sector and a deintensification and abandonment of agricultural land, also reported by other authors in different Mediterranean mountain environments (Douglas et al., 1994, 1996; Lasanta et al., 2001). In the Priorat, this situation was partially overcome during the late 1980s, after Spain joined the European Union, and the economic revaluation of Priorat wine. The modern farming system is based on the use of machinery (small tractors), and thus requires land terracing performed by bulldozers and backhoe loaders. Terraces are built without previous detailed design criteria and do not take into account soil types and/or hydrological and rainfall characteristics and landscape impact. Terracing requires a first step clearing the forest, followed by removal of soil and underground rock using heavy machinery. These bench terraces, with unprotected borders, require a great deal of cut and fill, resulting in the alteration of original soils and natural drainage ways, and in landslides that produce major damage to vines, irrigation systems and training systems. In most of the cases the walls of the terraces are not protected, except by the growth of natural vegetation. Usually no drainage systems are designed and created. In some occasions, the stony soil in the surface of the new built terraces is grinded to fine earth using especial equipment attached to a tractor (*Figure 5.4*).



Figure 5.4. Modern mechanized vineyard plantation in the Priorat region based on link bench terraces and support irrigation. The border of terraces are unprotected in the Priorat region.

5.2.3. Terrain modelling changes and related geomorphological effects

The landscape change morphology assessment resulting from the mechanized land terracing was based on relief reconstruction previous to the construction of the terraces (1986) and after (2003). This analysis was undertaken in the sample field (section 5.2.1). Since terrace construction is not based on a planned design, no land survey for building the relief model was available. For this reason, relief modelling was based on restitution of aerial photographs and later calculation of digital elevation models (DEMs). The aerial photographs used were from 1986 flight (approximate scale of 1:18000, Cartographic Institute of Catalonia) and a 2003 flight flown specifically for this research (approximate scale of 1:10000).

Both DEMs (1986 and 2003) were derived from spatial interpolation of height data (2 m spaced contours and spot heights) extracted from the previous mentioned stereo pairs. Altitude data were produced by a digital photogrammetric restitution process using Digital Image Analytical Plotter (DIAP) software (*Figura 5.5*)

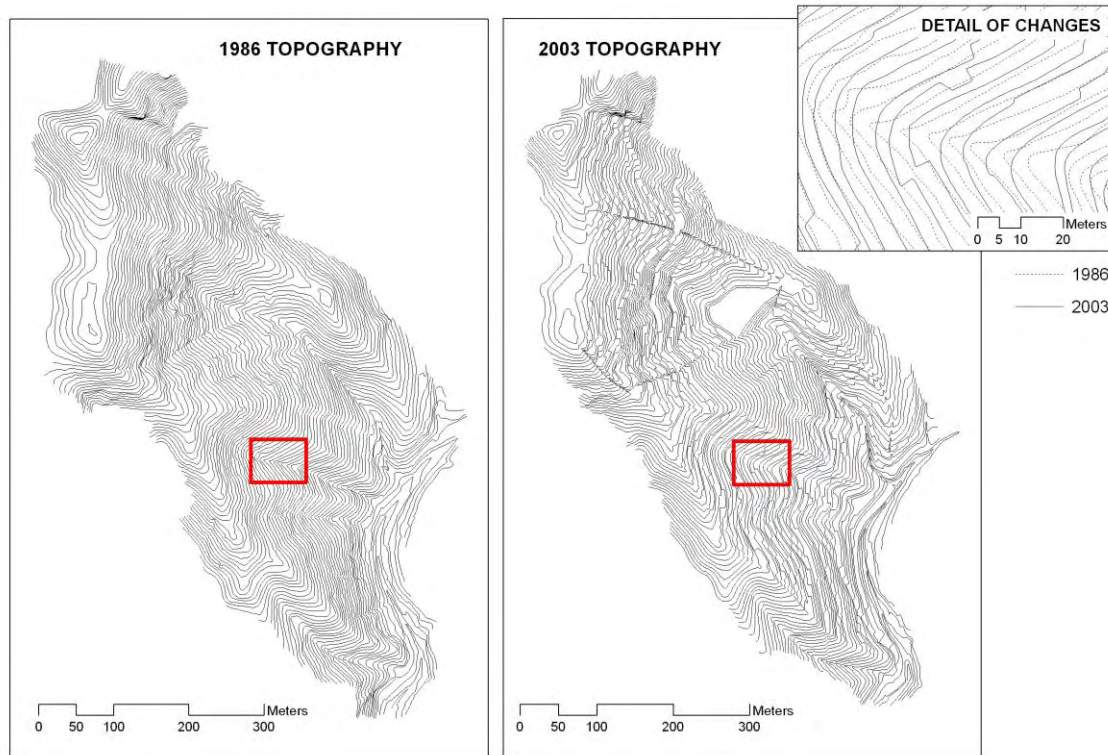


Figure 5.5. Comparison of pre-terracing topography (1986 situation) and post-terracing topography (2003 situation). Contour interval is 2 m in both representations.

From these data and additional break lines to shape the form of the terraces, two Triangulated Irregular Networks (TINs) were created using the capabilities of the 3D Analyst extension of ArcGIS 9.0. The TINs were used to interpolate height for the center-cell position of all cells in both regular output grids. The horizontal resolution given to the grids was 1 m and the vertical resolution was 0.1 m.

Systematic errors in the generation of elevation data were assessed by comparison of the two DEMs in areas without changes between the two dates. For that, nine control areas representing 1% of the study area were selected. For each one the mean of the elevation differences between the two DEMs (2003 – 1986) was computed (x_i). From these local elevation difference means, the mean of all control areas was computed (X). This value (0.27 m) was subtracted from the value of each 2003 DEM cell to correct the systematic errors with respect to the 1986 DEM. The deviation in the elevation differences between the two DEMs (95% confidence interval) was assumed as twice the square root of the sum of the variances of X with respect each x_i . The resulting value (0.0868 m) was used to compute the deviation of the elevation difference estimations.

The quantification and location of terrain morphology changes due to land terracing was based on the calculation of land movements involved in the construction of the terraces (Equation 5.1) and the calculation of slope differences (Equation 5.2).

$$\text{Equation 5.1} \quad V = ([DEM2003] - [DEM1986]) \cdot GR^2$$

Where: V = Volumetric difference (m^3), [DEM2003] = Digital Elevation Model of the year 2003 (m), [DEM1986] = Digital Elevation Model of the year 1986 (m), GR = Horizontal grid resolution (m) (1 m).

The application of *Equation 5.1* in raster or grid based GIS results in a new raster with the volumetric changes between the two dates per cell. A negative value in the cells in the volumetric difference map is interpreted as a cut or surface lowering, a positive value as a fill, and a very low or zero value as no change.

For the calculation of slope degree differences, terrain slopes were previously derived from the DEMs by applying the Slope function of Spatial Analyst ArcGIS 9.0. Then, slope differences were evaluated according to *Equation 5.2*.

$$\text{Equation 5.2} \quad SID = ([SLOPE2003] - [SLOPE1986])$$

Where: SID = Slope differences (%), [SLOPE2003] = Slope degree grid of the year 2003 (%), [SLOPE1986] = Slope degree grid of the year 1986 (m).

The value in the cells in the slope difference map is interpreted as the % cells with a slope increase and a negative as the % cells with a slope decrease, and a very low or zero as no change.

Three years after the construction of the terrace system a survey was carried out in the same field to map the collapse of terrace borders and damage to vines and infrastructures. This was performed using a Trimble GeoExplorer XT GPS with differential correction.

5.3. RESULTS AND DISCUSSION

5.3.1. Terrain morphology changes

Land terracing for new vineyard plantations in the Priorat region is carried out with the aid of heavy machinery for earth-moving (bulldozers and excavators) which involves large amounts of cutting and filling per unit area (*Figure 5.6*). This is the usual practice in other regions too (Andresen et al., 2004).

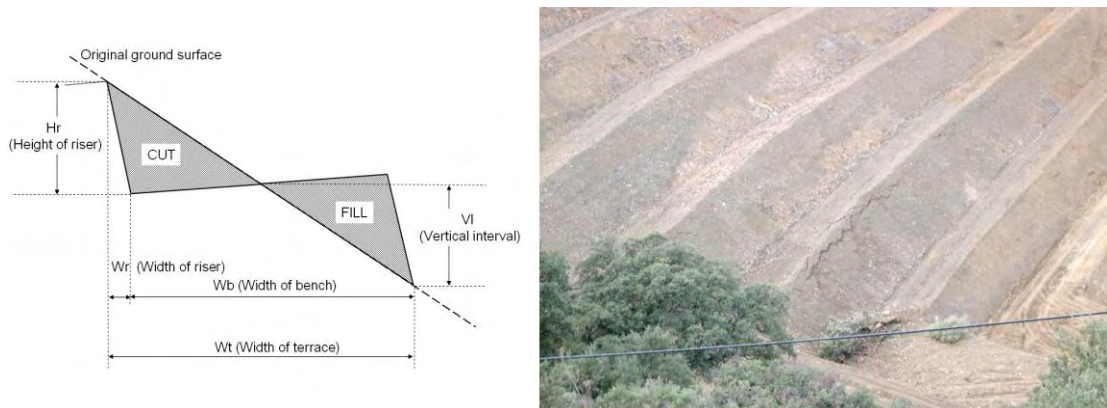


Figure 5.6. Example of bench terraces constructed at present with heavy machinery in the Priorat region.

The results of the multitemporal DEM analysis between 1986 (before terracing) and 2003 (after terracing) are detailed in *Figure 5.7* and summarized in *Table 5.1*.

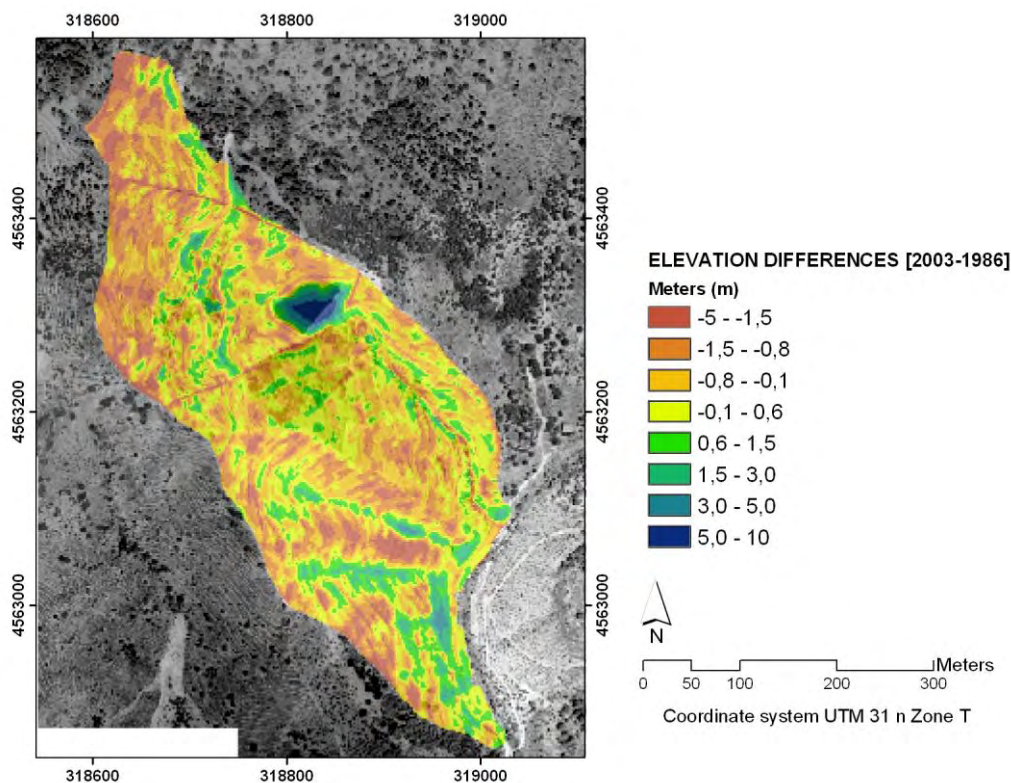


Figure 5.7. Example of bench terraces constructed at present with heavy machinery in the Priorat region.

Table 5.1. Summary of the multitemporal DEM analysis [2003 – 1986].

Land movement type	Affected area (ha)	Mean elevation difference (m)	Elevation difference range (m)	Volume (m ³)*	Volume (m ³ /ha)*
Extraction (cutting)	8.5	-0.91	-5.01 - -0.1	-77.746 ± 7.400	-5.437 ± 517
Addition (filling)	4.3	0.80	0.1 – 9.62	34.778 ± 3.760	2.432 ± 263
Without significant changes	1.2	-0.002	-0.1 – 0.1	-19.7 ± 1.000	1,39 ± 70

The figure after the symbol ± indicates the deviation at 95% confidence interval.

According to *Table 5.1*, $77.746 \pm 7.400 \text{ m}^3$ ($5.437 \pm 517 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) of earth materials were moved for terrace construction. Overall, a net negative balance $-42.990 \pm 11.200 \text{ m}^3$ ($3.006 \pm 783 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) between cut (negative) and fill (positive) operations exists. This is attributed to a higher compression of earth materials by the heavy machinery during terrace construction. In this respect, the bulk density of the top horizon before land transformation was 1.74 Mg m^{-3} ; after transformation values of 2.05 Mg m^{-3} were found (Cots-Folch et al., 2004; Abreu, 2005). This

compression is favoured by surface rock crushing, which is performed before the plantation to facilitate construction and to increase water retention, although (Cots-Folch et al., 2004; Abreu, 2005). Volumetric differences due to erosion processes are ruled out because of the short period between the study dates (17 years), the high soil infiltration rates due to high surface stoniness (between 62 - 100 mm h⁻¹, with simulated rainfall, Pla et al, 2004) and little field erosion observed.

A detailed analysis of the elevation difference map (*Figure 5.7*) shows that the zones with the highest lowering or cutting values (negative elevation differences) are close to the field water divide. These areas are where land terracing works start, moving the materials to lower zones to form the bench surfaces and risers. Other areas with important cutting correspond to convex planform slopes, which were removed to build terraces as straight as possible to facilitate mechanization. The zones with higher filling (positive elevation differences) correspond to gullies, valleys and local convexities (*Figure 5.7*), which were filled for the same reason just mentioned. In those places, filling supposes positive elevation differences between 2-4 m. The building of terraces should not invade natural watercourses such as gulleys or streams. With heavy rain, water will seek its natural course and will end up severely eroding the terracing. In addition, an important positive elevation difference (up to 9 m) is observed where a pond existed. This is also a usual practice in the area to support irrigation, which is mainly used during the first 3 – 4 years after the plantation is established.

The study area's earth movements associated with terrace construction are similar to those found in other Mediterranean regions. For example, Jiménez-Delgado et al. (2004) measured land movement rates of 5,622 m³ ha⁻¹ in land levelling works to reduce slope gradient and facilitate machinery operations in new vineyards in the Penedès region (NE Spain). These levelling works had maximum cut and fill depths of 5 – 8 m. Thus, annual earth movement associated with terrace construction exceeds erosion and deposition rates, even those measured in large gullies in a yearly scale. If we consider an original bulk density of 1,74 Mg m⁻³, land movements in the Priorat study area account for 9,460±900 Mg ha⁻¹ and 7,027.5 Mg ha⁻¹ in the Penedès area (original bulk density of 1,25 Mg m⁻³) (Jiménez-Delgado et al., 2004); versus 1,550 to 2,480 Mg ha⁻¹ yr⁻¹ (DeRose et al., 1998), 1,322 Mg ha⁻¹ yr⁻¹ (Martínez-Casasnovas, 2003) measured in large gullies, or 302-455 Mg ha⁻¹ y⁻¹ measured in badlands located within the Barasona Reservoir Basin in NE Spain (Martínez-Casasnovas and Poch, 1998), or 190 Mg ha⁻¹ y⁻¹ in densely gullied badlands on black marls in SE-France (Bufalo and Nahon 1992). However, land movement rates (land terracing or levelling) are within the range of natural mass movements, which account for several tens of cubic metres to 10⁵-10⁹ m³ (Shroder, 1998; Pallàs et al., 2004). This confirms land terracing and levelling as important human geomorphic processes which are able to reshape terrain morphology in a very short time scale, leaving a mark that will be difficult to erase in the short or medium term. While conserving soil and water and facilitating a more intensive cropping in steep lands (Landi, 1989), land terracing has introduced specific human induced geomorphic processes, that often are the most effective soil erosion and landscape changing processes acting at the field and hill-slope scales (Borselli et al., 2006).

Also, the research work out by Martínez-Casasnovas et al. (2010) on the assessment of plant development in the same sample field shows that the land terracing to build new terracing systems are introducing high crop variability due to cut and fills operations. Poorer soil conditions are observed in the cut zones whereas better plant development is detected in filled zones with fertile top soil (*Figure 5.8*).



Figure 5.8. Colour crop variety due cut and fill operations

Although the present vineyard surface is far from that occupied in 1900, contemporary vineyard growth results in significant morphological alterations in the land producing huge displacements of earth and alterations in soil properties. These environmental alterations are of such a magnitude that they will remain evident for years into the future.

Regarding slope degree differences (Figure 5.9 and Table 5.2), the average field slope changed from 49.6% in 1986 to 48.7% in 2003. However, a slope class analysis (Table 4.2) shows that, although the area represented by slopes 0 – 10% (benches) increases about 223% since 1986, the area covered in 2003 by the class >100% increases by 2.438%. This reflects the steep slopes of the terrace risers (mean $39.4 \pm 9.4^\circ$, with a range between 24° and 56°).

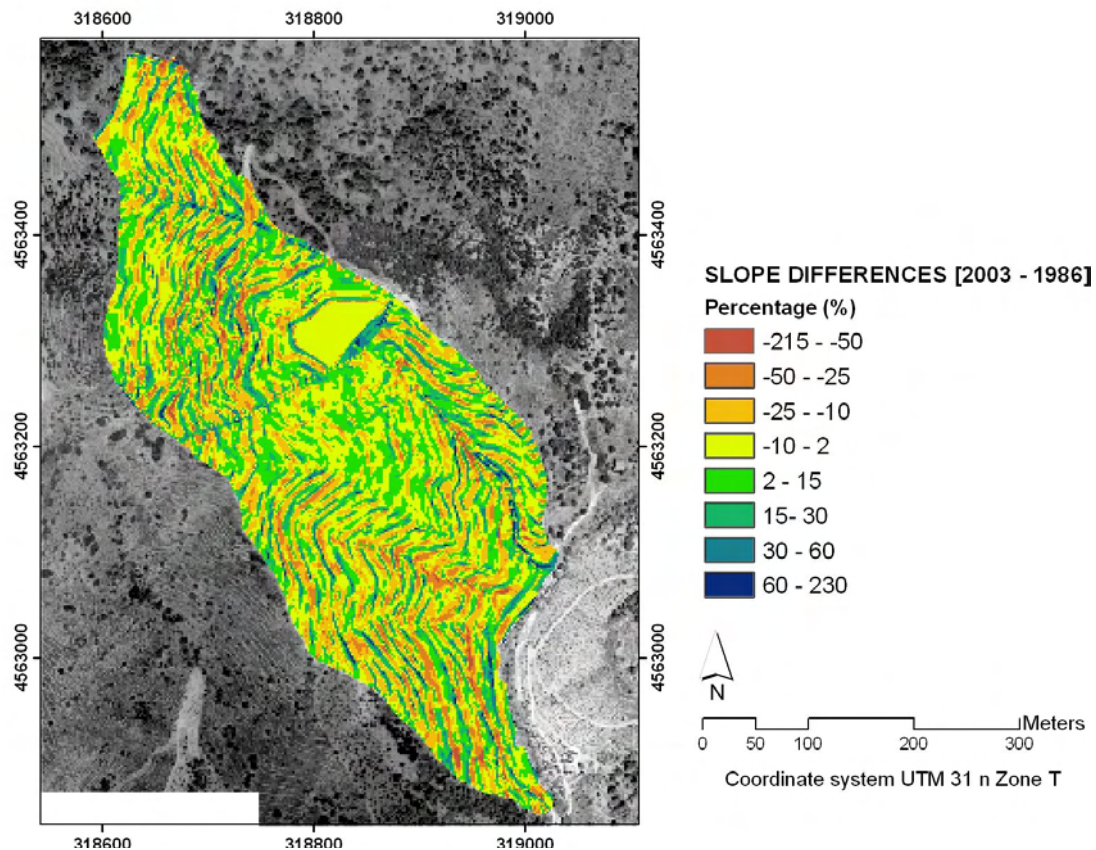


Figure 5.9. Map of the slope degree differences between 1986 and 2003 in the sample field study area.

Table 5.2. Slope class changes between 1986 and 2003 in the sample field.

Slope class (%)	Area in 1986 (ha)	Area in 2003 (ha)	Change rate with respect 1986 (%)
0 – 10	0.13	0.42	+223
10 – 20	0.27	0.43	+59
20 – 40	3.09	4.53	+47
40 – 100	10.7	8.61	-20
> 100	0.13	3.3	+2438

This type of bench terracing produces important topographical land transformations that reduces runoff and increases water infiltration. But derived problems also have been observed as burial of original soils and changes in soil physical (Cots-Folch et al., 2004; Pla, 2006) as has been observed in other areas (Querejeta et al., 2000), and a significant visual impact in contrast with the surrounding natural vegetation and traditional vineyard plantations. Visual impact is severe in high terraces and artificial polygonal profiles that do not blend into the surroundings and configures an artificialized landscape. In other areas land terracing are leaving to a deep gully formation (Brierley and Stankoviansky, 2003), changes in the hydrological regime and erosion of risers (Shrestha et al., 2004). Also mass due to the inconsistency of the new slopes, as has also stated by Shrestha et al. (2004) are frequent in the analysed terraced field (Abreu, 2005).

Other measures taken to evaluate the size of the terraces (20 terraces along and across the field) confirm high variability due to lack of terrace design. The terraces usually have an excessive height (Hr) (5.0 ± 3.0 m, with a range between 2.5 and 12.9 m), with a horizontal base of 2.7 ± 0.3 m. This makes terraces unbalanced when the rate between height and horizontal base is greater than 1 Sheng (1989) (the average is 0.8, but with a range between 0.4 and 1.5).

The survey carried out in this experimental field identified 73 mass movements of different magnitudes along the slope (Figure 5.10), mainly in those cases where Hr/Hv is smaller:

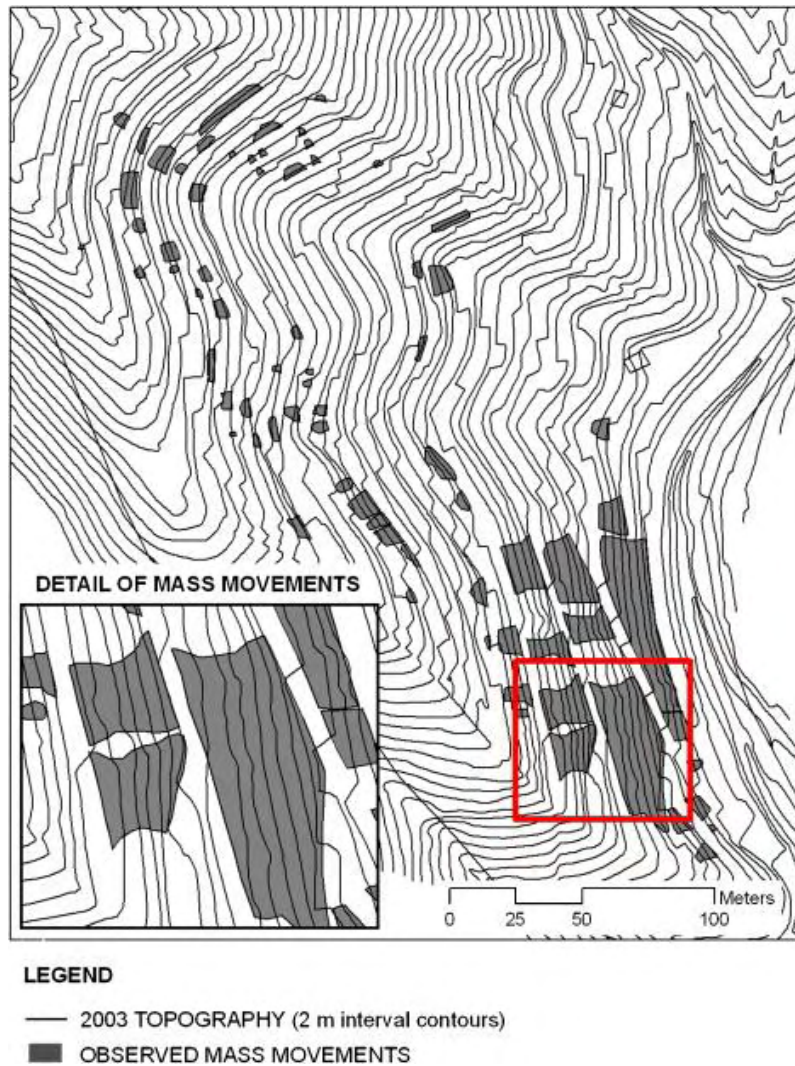


Figure 5.10. Location of mass movements in terraces of the experimental field.

The affected area was 4,950 m² (3.5% of the field area), 75% of which was located in terrace borders on the lower third of the slope, 20% on the upper third of the slope, and the rest in the middle of the slope. This distribution is most probably explained by the way the terraces are constructed, moving from the upper part of the slope (the water divide) to the lower part of the slope. This leads to unconsolidated material from cutting operations being accumulated on the lower part of the slope creating a fragile surface between the solid ground of the mountain and the soil on top, making landslides more likely.

Mass movements caused damage to plants and field infrastructures such as terraces, paths, irrigation tubes, training sticks and wires and the own vines, which are buried (Figure 5.11). In the experimental field, 319 plants out of 18,500 (1.7%) were affected, 97.5% of them located on the lower third of the slope where they represented 6.9% of the plants. In addition, irrigation tubes and training structures were damaged on the lower third of the slope. Some of the benches were blocked, obstructing the access of machinery to those terraces. Due to the steep slope and the difficult access for backhole loaders, restoration of the terraces has not been possible, and these zones have been abandoned.

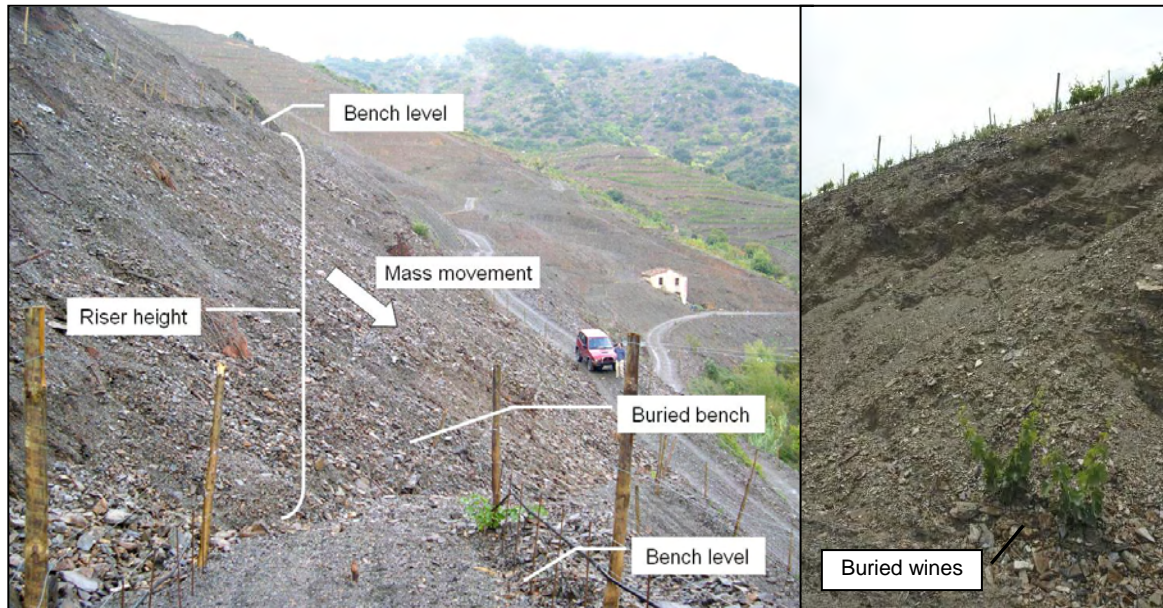


Figure 5.11. Mass movement produced by the collapse of a border in an area with excessive filling of materials and a steep slope.

5.3.2. Cost of land terracing operations and influence of the EU subsidies

To know the cost of the restructuring operations, mainly land terracing subsidized by the EU policy for vineyards' restructuring, and discuss the effects of this policy, cost data for starting new vineyard plantations was collected from the Regulating Council of the QDO Priorat. These costs, together with the compensation given by the EU Common Agricultural Policy for vineyard conversion measures, are summarized in *Table 5.3*. This table shows the restructuring actions and maximum subsidy applied in Catalonia (Order of the Catalanian Department of Agriculture 42/2003, 30/01/2003) with the aim of adapting production to market demand. These data are used to discuss the results on landscape effects due to land terracing for new vineyard plantations.

Table 5.3. Cost of the creation of a vineyard plantation in the QDO Priorat.

Action	⁽¹⁾ Cost (€ ha ⁻¹)	⁽²⁾ Maximum subsidy (€ ha ⁻¹)	Maximum subsidy coverage (%)
Uprooting	421	421	100%
Plantation			
<i>Soil preparation</i>	962	962	100%
<i>Plant (4500 plants ha⁻¹)</i>	7,437	9,315	125%
<i>Other plantation costs</i>	2,133	240	11%
<i>Cost of cultivation</i>	1,052	1,052	100%
Training	3,306	2,705	82%
Change from non-trained vines to trained vines	–	2,849	
Fence	–	4,958	
Horizontal lifted training	–	1,772	
Canary conduction system	–	8,564	
Soil disinfection	–	2,104	
Stone clearing	391	391	100%
Land levelling	–	601	
Land terracing	10,818	18,752	173%
Soil reposition	–	4,207	
Wind walls	–	8,414	
Protection against rabbits	–	1,202	
Regrafting			
<i>Graft (unit)</i>	–	0.60	
<i>Other regrafting costs</i>	–	1,202	
Fertilization	600	–	0%
Pesticides	360	–	0%
Irrigation	4,508	–	0%

(1) Prices from 2003.

(2) Maximum subsidy applied in Catalonia for vineyard restructuring actions (Order of the Catalanian Department of Agriculture 42/2003, 30/01/2003).

According to data provided by the Regulating Council of the Priorat Qualified Designation of Origin, the average cost of land terracing is about 10,818 € ha⁻¹. This figure represents 34% of the total cost of starting a new plantation, and is similar to other plantation costs (soil preparation, plants and cost of cultivation). The maximum subsidy for land terracing operations is 18,752 €·ha⁻¹ (Table 5.3), which represents 26.9% of the total maximum subsidies offered for the creation of a new vineyard plantation. Together with the maximum subsidy assigned to levelling (601 €·ha⁻¹), these operations account for 27.5% of the subsidies, which gives an idea of the importance assigned by the EU CAP to land movement in relation to other conversion measures. For 2000 – 2005 EU CAP subsidies assigned to the Priorat Qualified Designation of Origin accounts for a total of 3.1 million €.

The vineyard restructuring policy has encouraged wine producers in the Priorat to transform land grown with traditional crops into new mechanised and more profitable vineyards. This is demonstrated by the comparison of transformation rates before and after the coming into operation of the plans. Although terraced vineyards had been introduced in the Priorat after the market boom in the early 1990s, with transformation rates of 7.5 ha year⁻¹ (Cots-Folch, 2004),

the current transformation rates have been multiplied by 3.0 or 4.8 (depending on the time period considered (see Chapter 3)). This scenario is now changing, however, since a deceleration of the intensification process is observed and the vineyard restructuring policy is coming to the end (2008). This deceleration, which is mainly linked to a decrease in the market prices of wine, could also give rise to a new land abandonment process, as in other documented cases (Gallart et al., 1994), causing an increase in soil erosion due to a progressive degradation of the terraces and related infrastructures.

Although the EC Council Regulation No 1493/1999 on the common organization of the market in wine promoted “the use of environmentally sound cultivation practices, production techniques and waste-management practices in particular to protect the quality of water, soil and landscape and preserve and/or encourage biodiversity”, land terracing in the study area has not been intended for those purposes but for the mechanization of the crop labours. A specific study carried out by Ramos et al. (2007) in this study area about terrace design criteria, shows that terraces are constructed without previous design and the only factor considered by farmers is trafficability (i.e., the width suitable for machinery movement), and not soil and/or water conservation. Terrace walls are not constructed as in the traditional way, with stone walls, because of the higher cost and on man labour and time. It leads to major topographical transformation with more unstable walls, which are prone to mass movements due to the inconsistency of the new slopes. Nevertheless, although the 2003 CAP reform put greater emphasis on cross-compliance, which has become compulsory, viticulturist in the study area continue benefiting from EU subsidies for vineyard restructuring and conversion. They accomplish cross-compliance legislation through the construction of terraces on lands with slope degree higher than 15%, which allows mechanical crop operations (EC Council Regulation 1782/2003 on common rules for direct support schemes under the CAP and on certain support schemes for farmers and amending, and Spanish RD 2352/2004 on cross-compliance in relation to direct subsidies on the frame of the CAP). Then, according to the law, farmers comply with environmental protection requirements as a condition for benefiting from CAP support, but in part this support is not accomplishing the objectives for which was conceived: the protection of the environment by the reduction of impacts of the agricultural activities. In this respect, vineyards restructuring and conversion plans in Mediterranean mountain environments should be modified to avoid these situations, and terracing and/or levelling operations should be supported if accompanied by a technical project establishing the appropriate design criteria in order to make modern viticulture sustainable.

5.4. CONCLUSIONS

In some mountainous areas of Mediterranean countries, the increase in vineyard terracing has been observed during past years. These new terraces and stone walls are no longer constructed in the traditional, hand-built fashion. Nowadays, their construction relies on heavy earth moving machinery, bulldozers and backhoe loaders, which impose greater impact on the landscape:

- Land terracing methods in the Priorat displace huge amounts of earth materials ($5,437 \pm 517 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ or $9,460 \pm 900 \text{ Mg ha}^{-1}$) that cause a huge landscape transformation.
- The volume of displaced soil associated with mechanized terrace construction fall within the range of catastrophic natural mass movements, from several tens of cubic metres to $105 - 109 \text{ m}^3$. This confirms terracing as an important anthropic geomorphic process which is rapidly reshaping the terrain in many areas throughout the Mediterranean. In addition, it

implies the detachment and displacement of a huge amount of soil particles, parent materials and rocks that result in the loss of the original soil profiles.

- After the introduction of the EU Council Regulation policy for vineyards' restructuring, in 2000, which subsidizes up to 50% of the construction cost, land terracing has been accelerated. Land terracing costs, representing 34% of the total costs for starting a new terraced vineyard, is the operation receiving the maximum EU subsidy (up to 18,752 €). In the Priorat region, these subsidies have encouraged wine-growers not only not to preserve traditional farming systems but also create new ones that involve the construction of bench terraces by means of heavy machinery. In this sense, this policy has transformed the mountainous environment of the Priorat region.
- This rapid land transformation is at present leading to a surplus of wine from this region, whose medium-term consequences may include the abandonment of non-profitable terraced plantations. For this reason, the effectiveness of EU Policy for vineyard restructuring in Mediterranean areas can be questioned due to its impact in medium term.
- In some cases, bad designed terracing leads to stability problems such as the collapse of terraces or damage to vines and infrastructures. In the present case study, these problems have been observed in 3.5% of the areas of the experimental terraced field (14.2 ha), in which were measured 73 mass movements. These movements could be reduced if terracing works were supervised by engineers with experience in terrace construction, and monitored by the authorities in charge of subsidies control.

5.5. REFERENCES

- Abreu X. 2005. Evaluación del efecto de las propiedades hidrológicas y sistema de manejo sobre la susceptibilidad a erosión superficial y en masa en suelos pedregosos con viña del Priorato (Cataluña, España). PhD Thesis. University of Lleida, Lleida, Spain.
- Allen H.D., Randall R.E., Amable G.S., Devereux B.J., 2006. The impact of changing olive cultivation practices on the ground flora of olive groves in the Messara and Psiloritis regions, Crete, Greece. *Land Degradation and Development*, 17, 249-273.
- Andresen T., Bianchi de Aguiar F., Curado M.J., 2004. The Alto Douro Wine Region greenway. *Landscape Urban Plan.* 68, 289-303.
- Boellstorff D., Benito G., 2005. Impacts of set-aside policy on the risk of soil erosion in central Spain. *Agriculture, Ecosystems and Environment* ,107, 231–243.
- Borselli L., Pellegrini S., Torri D., Bazzoffi P., 2002. Tillage erosion and land levelling: Evidences in Tuscany (Italy). In: Rubio, J.L., Morgan, R.P.C., Asins, S., Andreu, V. (Eds.), *Proceedings of the Third International Congress Man and Soil at the Third Millenium*, Geofoma Ediciones, Logroño (Spain), pp. 1341-1350.
- Borselli L., Torri D., Øygarden L., De Alba S., Martínez-Casasnovas J.A., Bazzoffi P., Jakab G., 2006. Soil erosion by land levelling. In: Boardman, J., Poesen, J. (Eds.). *Soil Erosion in Europe*. John Wiley and Sons, Inc., pp. 643–658.
- Brierley G., Stankoviansky M., 2003. Geomorphic responses to land use change. *Catena* 51, 173-179.
- Bufalo M., Nahon D., 1992. Erosional processes of Mediterranean badlands: a new erosivity index for predicting sediment yield from gully erosion. *Geoderma* 52, 133-147.
- Busch G., 2006. Future European agricultural landscape – what can we learn from existing quantitative land use scenario studies? *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 114, 121-140.
- Caraveli H., 2000. A comparative analysis on intensification and extensification in Mediterranean agriculture: Dilemmas for LFAs policy. *Journal of Rural Studies*, 16, 231-242.
- Cots-Folch, R., 2004. Dinàmica espacio-temporal dels usos del sòl i canvis del paisatge a Porrera (DOQ Priorat). Research memory of the Diploma of Advanced Studies (DEA). University of Lleida, Spain.
- Cots-Folch R., Laporta L., Martínez-Casasnovas J.A., Ramos M.C., 2004. Impacts of land transformations on soil physical properties in the Priorat vineyard region (NE Spain). In: Kertész, A., Kovács, A., Csuták, M., Jakab, G., Madarász, B. (Eds.), *Proceedings of the 4th International Congress of the ESSC*. Hungarian Academy of Sciences, Geographical Research Institute, Budapest, pp. 196-199.
- DeRose R.C., Gómez B., Marden M., Trustrum N.A., 1998. Gully erosion in Mangatu forest, New Zealand, estimated from digital elevation models. *Earth Surface Processes and Landforms*, 23, 1045-1053.
- Douglas T.D., Kirkby S.J., Critchley R.W., Park G.J., 1994. Agricultural terrace abandonment in the Alpujarra, Andalucía, Spain. *Land Degradation and Rehabilitation*, 5, 281-291.

- Douglas T.D., Critchley D., Park G.J., 1996. The deintensification of terraced agricultural land near Trevélez, Sierra Nevada, Spain. *Global Ecology and Biogeography Letters*, 5, 258-270.
- Faulkner H., Ruiz J., Zukowskyj P., Downward S. 2003. Erosion risk associated with rapid and extensive agricultural clearances on dispersive materials in southeast Spain. *Environmental Science & Policy* 6, 115-127.
- Gallart F., Llorens P., Latron J., 1994. Studying the role of old agricultural terraces on runoff generation in a small Mediterranean mountainous basin. *Journal of Hydrology*, 159, 291-303.
- Hooke J.M., 2006. Human impacts on fluvial systems in the Mediterranean region. *Geomorphology*, 79, 311-335.
- Jiménez-Delgado M., Martínez-Casasnovas J.A, Ramos M.C., 2004. Land transformation, land use changes and soil erosion in vineyard areas of NE Spain. In: Kertész, A., Kovács, A. Csuták, M., Jakab, G., Madarász, B. (Eds.). *Proceedings Volume of the 4th International Congress of the ESSC*. Hungarian Academy of Sciences, Geographical Research Institute, Budapest, Hungría, pp. 192-195.
- Kosmas C., Danalatos N.G., Cammeraat L.H., Chabart M., Diamantopoulos J., Farand R., Gutierrez L., Jacob A., Marqués H., Martínez-Fernandez J., Mizara A., Moustakas N., Nicolau J.M., Oliveros C., Pinna G., Puddu R., Puigdefabregas J., Roxo M., Simao A., Stamou G., Tomasi N., Usai D., Vacca A., 1997. The effect of land use on runoff and soil erosion rates under Mediterranean conditions. *Catena*, 29, 45–59.
- Landi R., 1989. Revision of land management systems in Italian hilly area. In: Schwertmann, U., Rickson, R.J., Auwerswald, K. (Eds.), *Soil erosion protection measures in Europe*. Soil Technology Series 1, Catena Verlag, Cremlingen, Germany, pp. 175-188.
- Lasanta T., Arnáez J., Oserín M., Ortigosa M., 2001. Marginal lands and erosion in terraced fields in the Mediterranean mountains. A case study in the Camero Viejo (Northwestern Iberian System, Spain). *Mountain Research and Development*, 21, 69-76.
- Lasanta T, Marin-Yaseli M.L., 2007. Effects of European common agricultural policy and regional policy on the socioeconomic development of the central Pyrenees, Spain. *Mountain Research and Development*, 27, 130-137.
- Lundekvam H.E., Romstad E., Øygarden L., 2003. Agricultural policies in Norway and effects on soil erosion. *Environmental Science and Policy*, 6, 57-67.
- Martínez-Casasnovas J.A., Poch R.M., 1998. Estado de conservación de los suelos de la cuenca del embalse Joaquín Costa. *Limnética* 14, 83-91.
- Martínez-Casasnovas J.A., Sanchez-Bosch I., 2000. Impact assessment of changes in land use/conservation practices on soil erosion in the Penedès-Anoia vineyard region (NE Spain). *Soil Tillage Research*, 57, 101-106.
- Martínez-Casasnovas J.A., 2003. A spatial information technology approach for the mapping and quantification of gully erosion. *Catena*, 50, 293-308.
- Martínez-Casasnovas JA, Ramos MC, Espinal-Utgés S, 2010. Hillslope terracing effects on the spatial variability of plant development as assessed by NDVI in vineyards of the Priorat region (NE Spain). *Environment modelling and assessment*, 163 (1-4), 379-396.
- Morera E., 1915. Tarragona. In: Carreras Candi, F. (Ed.), *Geografía general de Catalunya*. Editorial Albert Martín, Barcelona.

- Oñate J.J., Peco B., 2005. Policy impact on desertification: stakeholders' perceptions in southeast Spain. *Land Use Policy*, 22, 103–114.
- Pallàs R., Vilaplana J.M., Guinau M., Falgàs E., Alemany X., Muñoz A., 2004. A pragmatic approach to debris flow hazard mapping in areas affected by Hurricane Mitch: example from NW Nicaragua. *Engineering Geology*, 72, 57-72.
- Piccarreta M., Capolongo D., Boenzi F., Bentivenga M., 2006. Implications of decadal changes in precipitation and land use policy to soil erosion in Basilicata, Italy. *Catena*, 65, 138 – 151.
- Pla I., Ramos M.C., Nacci S., Fonseca F., Abreu X., 2004. Soil and water conservation as affected by changing Mediterranean climate and land management in vineyards of Catalonia (NE Spain). In: Kertész, A., Kovács, A., Csuták, M., Jakab, G., Madarász, B. (Eds.). *Proceedings of the 4th International Congress of the ESSC*. Hungarian Academy of Sciences, Geographical Research Institute, Budapest, pp. 86-91.
- Pla I., 2006. Hydrological effects of land use changes under Mediterranean climate conditions. *Proceedings International ESSC Conference on Soil and Water Conservation Under Changing Land Use*. Lleida (Spain).
- Querejeta J.I., Roldán A., Albaladejo J., Castillo V., 2000. Soil Physical Properties and Moisture Content Affected by Site Preparation in the Afforestation of a Semi-arid Rangeland. *Soil Science Society of America Journal*, 64, 2087-2096.
- Ramos M.C., Martínez-Casasnovas J.A., 2006. Impact of land levelling on soil moisture and runoff variability in vineyards under different rainfall distributions in a Mediterranean climate and its influence on crop productivity. *Journal of Hydrology*, 321, 131-146.
- Ramos M.C., Cots-Folch R., Martínez-Casasnovas J.A., 2007. Sustainability of land terracing in the new field organisation of the Priorat region (NE, Spain). *Geomorphology*, 2007, 86 (1-2), 1-11.
- Sheng T.C., 1989. Soil conservation for small farmers in the humid tropics. *FAO Soils Bulletin* 60, Roma.
- Shrestha D.P., Zinck J.A., Van Ranst E., 2004. Modelling land degradation in the Nepalese Himalaya. *Catena*, 57, 135-156.
- Shroder J.F., 1998. Slope failure and denudation in the western Himalaya. *Geomorphology* 26, 81-105.
- Tanrivermis H., 2003. Agricultural land use change and sustainable use of land resources in the mediterranean region of Turkey. *Journal of Arid Environments*, 54, 553-564.
- Torri D., Borselli L., Calzolari C., Yanez M.S., Salvador Sanchis M.P., 2002. Land use, soil quality and soil functions: effect of erosion. In: Rubio, J.L., Morgan, R.P.C., Asins, S., Andreu, V. (Eds.), *Proceedings of the 3rd International Congress of The European Society For Soil Conservation*, 28 March 2000, Valencia Spain. "Man and soil in the third millennium". Geofoma Ediciones, Logroño, Spain, Vol. I, pp. 131-148.
- Van Wesemael B., Poesen J., Mulligan M., Cammeraat E., 2004. Spatial patterns in water use of treecrops induced by land degradation: A case study from south east Spain. In: Faz, A., Ortiz, R., García, G. (Eds.). *Fourth International Conference on Land Degradation*. Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena, Murcia, Spain, CD-ROM publication, Paper 5.9, pp 5.

Zalidis G., Stamatiadis S., Takavakoglou V., Eskridge K., Misopolinos N., 2002. Impacts of agricultural practices on soil and water quality in the Mediterranean region and proposed assessment methodology. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 88, 137-146.

6. EFFECTS OF LAND TERRACING ON SOIL PROPERTIES: A MULTIVARIATE ANALYSIS

Chapter 6

EFFECTS OF LAND TERRACING ON SOIL PROPERTIES: A MULTIVARIATE ANALYSIS

ABSTRACT

Agricultural intensification occurring in the Priorat region has been undergoing drastic changes with the conversion of abandoned and natural vegetation areas into new terraced vineyard plantations. In most of cases, these land cover changes comprise land terracing and soil surface crushing that involves mobilization of a large amount of soil and a completely alteration of the structure of soil surface. To evaluate the impacts of these land transformations this chapter analyse soil physical properties such as texture, water retention and infiltration capacity in a sample area of the region. For this study two different situations on a 100-m-long hillslope were studied: one in an undisturbed position, with natural vegetation and one in a disturbed two and four-year-old terraced vineyard. Samples of the soil surface from 0 to 20 cm were collected at several points along the slope for analysis of texture, organic matter and aggregate stability. At these locations, saturated hydraulic conductivity was measured using a disc permeameter. The results show that in these soils with a high percentage of coarse elements (> 60%), work carried out during land transformation produced changes in the particle size distribution of the fine fraction. In addition, levelling reduced the organic matter content of the cultivated soils up to 50%. These changes also affected hydraulic conductivity, water retention capacity (which decreased by 45%) and aggregate stability, as well as the relationships between all these variables.

Keywords: Land terracing, mechanised vineyards, aggregate stability, hydraulic conductivity, water retention capacity, multivariate analysis.

Published in:

- Ramos, M.C., Cots-Folch, R., Martínez-Casasnovas, J.A., 2007. Effects of land terracing on soil properties in the Priorat region in northeastern Spain: A multivariate analysis. *Geoderma*, 142, 251-261.

6.1. INTRODUCTION

The radical changes that European agriculture has undergone in the last few decades have entailed large-scale processes of land-use and land-cover change (LUCC). These changes are leading to major landscape modifications, land degradation and new management techniques as a result of the abandonment of traditional practices and the intensification of more productive land (García-Ruiz et al., 1996; Zalidis et al., 2002; Borselli et al., 2006). In the Mediterranean region, these changes act as one of the main environmental degradation forces through the impacts on soil and water resources (Zalidis et al., 2002) and biodiversity (Bielsa et al., 2005).

Specifically, agricultural land intensification has emerged as a consequence of technological progress and the socioeconomic constraints of adapting fields to make them competitive in the framework of new national and international market prospects. This process requires earth movements (land levelling and/or land terracing operations) to prepare the area for new cultivation, and management to implement the new land use through the removal of unwanted vegetation and field boundaries, etc. (Borselli et al., 2006). In some cases, these changes are supported by the Common Agricultural Policy (CAP), which gives various incentives and subsidies that affect not only agricultural land use but also the rural landscape (Busch 2006).

In the Mediterranean region, vineyards are one of the main crops which during the last decade have suffered significant land transformations (Martínez-Casasnovas and Sánchez-Bosch, 2000; Pla and Nacci, 2003). They have been stimulated by the EU Common Agricultural Policy, through the restructuring and conversion plans (Commission Regulation EC No. 1227/2000 of 31 May 2000, which specifies detailed rules for the application of Council Regulation EC (1493/1999) as regards production potential) that support the large economic cost of implementation of such operations.

One clear example of drastic transformation to adapt land for new vineyard plantations is the Priorat Qualified Designation of Origin (Priorat QDO). Traditional vineyards are cultivated in the slope, with small stone terracing systems helping soil and slope morphology conservation. However, and, with the aim of facilitating the work and increase productivity, new vineyards are built mostly with new terracing systems.

Heavy machines such as bulldozers are being used for large-scale earth movements in order to create new terracing systems for vineyards. The construction of these new terracing systems not account for soil conservation measures. Also some of them, and according to popular knowledge, crushed surface material with machines to improve the vineyards labour. The new terraces have average risers more than 2.5 m high, with no protection and slopes of about 36°. All those works modify the soil surface characteristics, which influence the infiltration properties at the surface (Poesen et al., 1990; Leonard and Andrieux, 1998; Malet et al., 2003) and interact with other geomorphological processes such as erosion (Lundekvam et al., 2003) and mass movements, mainly during extreme precipitation events (Abreu, 2005). The spatial variability created by all these operations leads to heterogeneous infiltration and runoff responses on hillslopes. The soil redistribution also modifies the soil slope stability and the stability of the terraces, increasing the risk of surface mass movements (Abreu, 2005).

Some studies have pointed out the spatial variability of soil properties along the hillslopes (Agbenin and Tiessen, 1995; Bartoli et al., 1995) and with the slope degree (Janeau et al., 2003). However, there are no studies documenting the effects of the new mechanised terracing systems on soil properties. We could expect accumulative effects produced by the redistribution of the soil such as some authors have pointed out to some extent by studies on tillage erosion

(Van Muysen, et al., 1999; Torri et al., 2002; De Alba et al., 2004) on slow-forming terraces (Dercon et al., 2003), on compaction due to the use of heavy machinery (Ferrero et al., 2005; Pla and Nacci, 2003) or by translocation caused by terracing on steep slopes. Also mechanisation works had led to an acceleration of soil surface erosion (5-20 Mg/ha year) (Usón, 1998) and an intensification of mass movements including gully erosion (Martinez , 1998), and changes in the availability of soil water for the crop at different crop stages. All these operations give rise to gradients in soil properties from the upper to the lower parts within the plots (Thapa et al., 1999; Turkelboom et al., 1997), even affecting soil productivity (Turkelboom et al., 1996).

To cover this gap in new mechanised terracing systems, the objective of the present work is to analyse the impact of land terracing on soil physical properties such as water stable aggregates, water infiltration and retention capacity by comparing the same properties in old traditional vineyards and forest areas that conserve the natural soil and slope morphology and the new terraced vineyards resulting from earth movement operations in a sample area of the Priorat QDO, (northeastern Spain).

6.2. MATERIAL AND METHODS

6.2.1. Soil sampling

The assessment of land transformation effects on soil hydrological properties was carried out in three plots with a convex-concave slope in the municipality of Porrera (318,900; 4,562,900 UTM 31n zoneT) (*Figure 4.1*). One plot consisted of an old vineyard cultivated on hillslopes according to the traditional system. The other two plots consisted of new terraced vineyards, in which a different degree of land transformation on the soil surface could be observed: in one of them soil surface was mechanically crushed using a stone-crusher machine to leave on top of the surface soil particles less than 30 mm. In addition, the same characteristics were analysed in a forest area and in an abandoned area, which had been previously cultivated with hazel nuts but at this time was covered with natural vegetation.

The average slope of each plot was about 27°. On each plot, several sampling points were considered uniformly distributed along the slope:

- i. On terraced plots with crushed material on the surface (TVc): 12 points at 6 positions along the slope ranging from 269 m to 298 m a.s.l.
- ii. On terraced vineyard plots without crushed surface material (TV): 12 points, at 6 positions ranging from 309 m to 463 m a.s.l.
- iii. On old vineyard-plot (OV): 7 points on the at positions ranging 289m to 419 m a.s.l.
- iv. On an abandoned non-cultivated area covered with forest vegetation (AB): 6 points located between 360 m and 489 m a.s.l.

The locations of the sampling points are indicated in *Figure 6.1*.

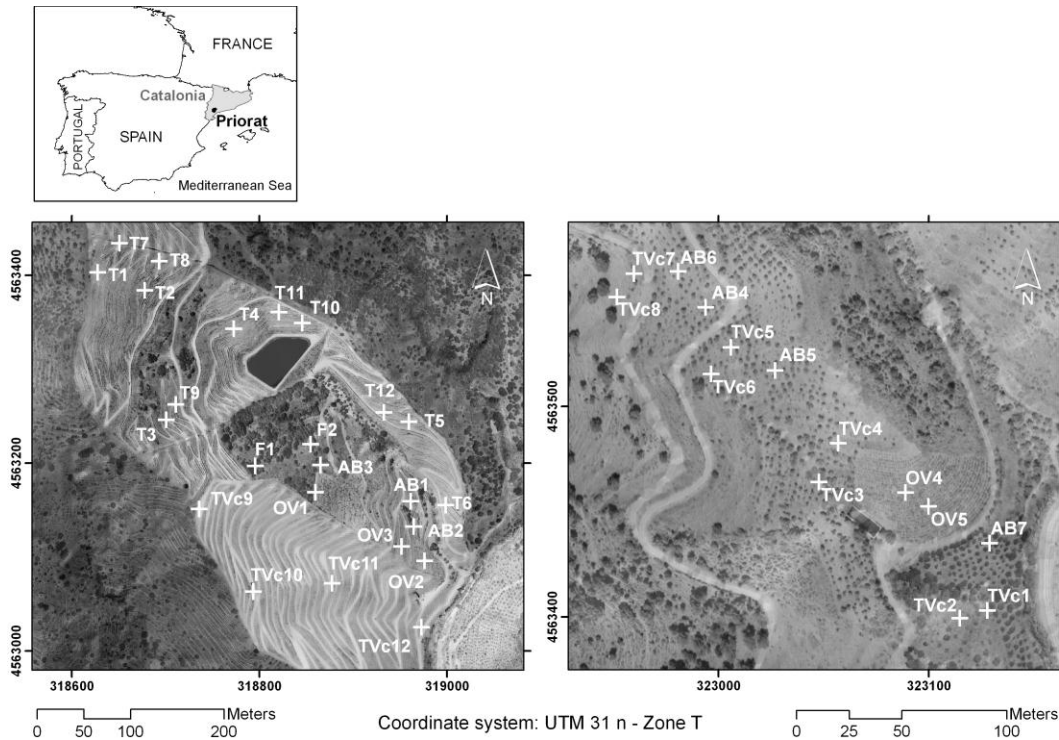


Figure 6.1. Location of the study fields in the municipality of Porrera, Priorat region.

6.2.2. Soil characteristics

At each position, surface soil samples (0-20 cm) were taken for laboratory analysis. All samples were air dried and sieved using a 2-mm mesh. The following parameters were analysed: Soil pH and electrical conductivity (EC), were determined in a water suspension of soil using a 1:5 soil/solution ratio (EC_{1:5} water extract). Particle size distribution without extraction of carbonates was analysed according to Gee and Bauder (1986), organic matter was previously destroyed and then dispersed with Na-hexametophosphate. Organic matter content (OM) was evaluated following the method proposed by Nelson and Sommers (1982) (OM=Organic carbon* 1.72). Aggregate stability was evaluated following the standard method (Kemper and Rosenau, 1986) using 1-2 mm diameter aggregates (OSM), saturated and placed in a Yoder apparatus. The material remaining on the sieve after 3 minutes raised and lowered trough a 1.3-cm vertical distance at 36 cycles per minute was oven dried (105°C) and weighed (stable aggregate mass=SA). Then this material was dispersed by sonication in distilled water three times for 10 minutes each and sieved. The fraction remaining on the 0.25 mm sieve was oven-dried and weigh to obtain the mass of >0.25 mm sand (SM). The water stable aggregate percentage (WSA) was calculated by the *Equation 6.1*:

$$\text{Equation 6.1} \quad WSA = \frac{SA - SM}{OSM - SM} * 100$$

where: WSA= water stable aggregate percentage (%); SA= stable aggregate mass; SM= mass of >0.25 mm sand; OSM= original soil mass.

In addition, water retention capacity at -33 kPa (FC) and -1500 kPa (WP) were evaluated in the fine soil fraction <2mm, using Richard plates. Bulk density (BD) was measured in situ by making a 25cm*25cm*15 cm hole in the soil and measuring soil mass and volume (Pla, 1983;

Blake and Hartge, 1986). Soil mass was measured after dried at 105°C for 24 hours. Volume was measured by filing the whole, previously recover with plastic film, with distilled water. From this information (water retention capacity (WRC -33kPa and WRC -1500 kPa) and bulk density (BD)) available water capacity (AWC) was calculated for each sample according to Equation 6.2.

$$\text{Equation 6.2} \quad AWC = [(WRC_{-33kPa}) - (WRC_{-1500kPa})] * BD * SD$$

where: AWC= available water capacity (kg water/kg soil); WRC_{-33kPa} = water retention ; capacity at -33 kPa (%) (field capacity); $WRC_{-1500kPa}$ = water retention capacity at -1500kPa (%) (wilting point); BD= bulk density (kg soil/m³); SD= soil depth (m).

The results were then referred to the total soil volume. For this calculation the results observed by Fonseca (2006) related to the water retention capacity of the different particle size of these soils were taken into account. He found that the fraction < 2mm retained most of water (85% on average at 33 kPa and 84% at 1500 kPa), which is in agreement with the results obtained for stony soils by Cousin et al 2003, who pointed out that when hydraulic properties are neglected percolation can be overestimated up to 15.8%. Saturated hydraulic conductivity (Ks) was evaluated with a CSIRO disc permeameter for saturated infiltration with a 25-cm-diameter base (Perroux and White, 1998). A thin (5mm) moist contact sand layer was applied to the soil surface to cover exposed rock edges and to provide a better surface contact. Ks was determined from measured infiltration rates.

6.2.3. Statistics

A statistical analysis (mean tests and ANOVA analysis) was performed in order to confirm significant differences. The least-significant differences (LSD) option of the ANOVA was used as a test of significance of differences among means (significant differences at 95% level were analysed). In addition, a multivariate analysis (principal component and cluster analysis) was made to analyse the relationship between the studied variables and the changes caused by the mechanical operations. The analysis was carried out using the STATGRAPHICS 5.1 software.

Both principal component analysis (PCA) and cluster analysis (CA) are widely used in environmental studies for classification, modelling and evaluation. Principal component analysis (PCA) reduces the dimensionality by revealing several underlying components, which are called principal components. Each principal component (PC) is described in terms of p new components (Fi), which are defined as a linear combination of the original variables. The first component, associated with the larger eigenvalue, accounts for the maximum of the total variance; the second component is the second linear combination, uncorrelated with the first, which accounts for the maximum of the residual variance, and so on until the total variance is accounted. Usually, a small number of components explain a high percentage of the total variance; that is, the data set can be described in a smaller-dimensional space. In order to facilitate the interpretation of each component, Varimax Rotation was applied. The data were standardised to zero mean and unit variance. A first principal component analysis of all samples belonging to all land use treatments were performed, in order to see if there were differences between land use treatments. The factor scores of the retained PC were analysed. From the observed results the samples were separated into two data sets depending on the soil modification: terraced vineyards (treatments TV+TVc) and old vineyard+abandoned areas with natural vegetation (cultivated on the original hillslope) (treatments OV+AB).

For cluster analysis (CA), a hierarchical cluster technique was used (Massart and Kaufman, 1983). The purpose of cluster analysis (CA) is to place objects into groups in which the objects show some similarity to each other. The dissimilarity between them is a distance measure. The hierarchical cluster technique uses a Euclidean distance metric to separate a set of objects into groups according to chosen criteria. Among the different methods, two aggregation criteria were used: the group-average method and Ward's minimum variance method. Both have been pointed out as methods that give good results (Milligan, 1980).

The group-average method is a weighted method which calculates the distance between two clusters as the arithmetic average distance from observations in one cluster to observations in another cluster. This method tends to combine clusters that have small variances and may produce clusters that have the same variance. Ward's method calculates the distance between two clusters as the sum of squares between the two clusters added up over all the variables. At each generation, the within-cluster sum of squares is minimised over all partitions obtainable by merging two clusters from the previous generation. This method tends to join clusters with a small number of observations and is strongly biased towards producing clusters with a similar number of observations. This method attempts to minimize the Sum of Squares (SS) of any two (hypothetical) clusters that can be formed at each step. In general, this method is regarded as very efficient, but it tends to create clusters of small size. In both cases the results were presented by a dendrogram, a two-dimensional figure that represents the sequence and the distance at which the observations are clustered.

The variables included in the analysis were the physical characteristics of the soil analysed in each land use treatment: proportion of water stable aggregates (WSA); water retention capacity at -33 kPa (field capacity) (FC); water retention capacity at -1500 kPa (wilting point) (WP); available water capacity (AWC); saturated hydraulic conductivity (Ks); bulk density (BD); organic matter content (OM); and particle size distribution (proportion of clay, silt, sand and gravels). The values used in this analysis were referred to total soil mass. The hierarchical technique was carried out using standardised data to zero mean and unit variance in two series: terraced vineyards (treatments TV+TVc) and old vineyard+abandoned areas with natural vegetation (treatments OV+AB). The average values of each variable in each cluster as well as the characteristics of the sampling points included in each of them were taken into account to interpret the results.

6.3. RESULTS AND DISCUSSION

6.3.1. Changes in soil characteristics

The most remarkable characteristic of the analysed soils is their high percentage of gravels (>2 mm), ranging from 46.9 to 85.6% in both traditional and new terraced plots, with mean values ranging between 65.2% (CV= 0.10) in traditional vineyards and 69.7% in terraced vineyards (CV= 0.18) (*Table 6.1*). Different letters indicate significant differences at 95% level of significance. No significant differences were observed between the undisturbed plots (old vineyards and abandoned plots with natural vegetation) and the disturbed plots (new terracing systems).

Table 6.1. Mean values, standard deviation and coefficient of variation (CV) of soil particle distribution, organic matter content (OM), pH and electrical conductivity (EC) for each land use treatment: new terraced vineyards (T), new terraced vineyards with crashed material on top of the surface (TVc), old vineyards (OV), abandoned areas with natural vegetation (AB), number of sampling points (n).

Land use treatment (n)	Texture (USDA)			Gravels (> 2mm) (%) (CV)	OM (%) (CV)	pH (CV)	EC (dSm ⁻¹) (CV)
	Clay (%) (CV)	Silt (%) (CV)	Sand (%) (CV)				
Values in <2 mm soil mass							
T (12)	9.2±3.3 ^a (0.36)	16.8±3.8 ^a (0.23)	74.4±5.2 ^a (0.07)	67.8±12.6 ^a (0.18)	0.9±0.4 ^a (0.44)	6.0±0.7 ^a (0.12)	0.18±0.10 ^a (0.56)
TVc (12)	11.2±3.8 ^a (0.34)	18.9±3.5 ^a (0.09)	69.8±6.3 ^a (0.09)	69.7±8.9 ^a (0.12)	0.6±0.5 ^a (0.83)	6.5±0.3 ^a (0.05)	0.16±0.08 ^a (0.50)
OV (8)	9.0±3.4 ^a (0.38)	18.7±4.9 ^a (0.08)	72.3±5.6 ^a (0.09)	65.2±6.8 ^a (0.10)	1.2±0.4 ^b (0.33)	5.3±1.2 ^b (0.19)	0.14±0.03 ^a (0.21)
AB (6)	6.5±0.7 ^a (0.11)	23.1±2.5 ^a (0.03)	70.4±1.9 ^a (0.03)	67.4±3.8 ^a (0.05)	1.8±1.1 ^b (0.61)	6.6±0.5 ^a (0.08)	0.09±0.03 ^b (0.33)
Values referred to total soil mass							
T (12)	3.4±1.6 ^a (0.47)	5.52±2.3 ^a (0.42)	24.2±10.3 ^a (0.43)	67.8±12.6 ^a (0.18)	0.16±0.08 ^a (0.50)	6.0±0.7 ^a (0.12)	0.18±0.10 ^a (0.56)
TVc (12)	2.5±0.8 ^a (0.32)	5.86±2.4 ^a (0.41)	20.8±5.1 ^a (0.25)	69.7±8.9 ^a (0.12)	0.18±0.13 ^a (0.72)	6.5±0.3 ^a (0.05)	0.16±0.08 ^a (0.50)
OV (8)	3.4±0.7 ^a (0.21)	5.56±1.1 ^a (0.20)	25.8±6.9 ^a (0.27)	65.2±6.8 ^a (0.05)	0.42±0.1 ^b (0.33)	5.3±1.2 ^b (0.23)	0.14±0.03 ^a (0.21)
AB (6)	2.1±0.1 ^a (0.05)	7.59±1.6 ^a (0.21)	22.8±2.2 ^a (0.10)	67.4±3.8 ^a (0.05)	0.57±0.3 ^b (0.53)	6.6±0.6 ^a (0.09)	0.09±0.03 ^b (0.33)

*different letters and colours indicate significant differences between land use treatment.

The soils are slightly acid, with pH values ranging between 4.4 and 7.6, being significantly lower in the old vineyards (4.6±0.22, CV=0.048) than in the terraced plots (6.48±0.28; CV=0.043) or in the abandoned areas (6.61±0.55; CV=0.083). The lower pH in the old vineyards could be due to the use of fertilisers or herbicides for a long time in those soils which are usually not ploughed. However, in the new terraced plots top soil horizons come from deeper layers of abandoned lands where these products had been not used for a long time. This result is in agreement with that found by Sevink et al., 1998 in a study carried out near to our study area. These authors found differences between the soil surface (pH ranging from 4.5 to 5) and the deeper layers (pH near 6). In our study case, in the terraced vineyards the deeper layers are now on the surface. The electrical conductivity (EC) ranged between 0.09 and 0.17 dSm⁻¹ at 25°C, without significant differences between land use treatments (0.16; CV = 0.5 in terraced soils and 0.09; CV = 0.33, in abandoned areas). The organic matter content (OM) was relatively low, with significantly lower values on the terraced plots (0.17%; CV = 0.47) than on the traditional vineyard plots (0.43 %; CV=0.30) and in the soils of abandoned areas (0.48%; CV=0.61), as a consequence of the levelling works.

Bulk density was very variable within each plot, ranging between $1,650 \pm 310 \text{ kg m}^{-3}$ (CV=0.19) in the abandoned areas and $1,756 \pm 158 \text{ kg m}^{-3}$ (CV=0.09) on the terraced plots with crushing treatment (*Table 6.2*). The small increase observed on the new terraced plots could be due to compaction not only during the construction of the terraces but also during mechanised tilling and other crop labours. These results are also confirmed by other studies carried out in other new terraced fields in the Priorat QDO which quantify mean values of 1.61 kg m^{-3} in non terraced plots versus 2.01 kg m^{-3} in terraced plots (Abreu, 2005; Cots-Folch et al., 2006). In the traditional vineyards the bulk density was similar to that in the abandoned areas ($1,650 \text{ kg m}^{-3}$).

The changes in structure and bulk density, together with the low organic matter content of the soils after the terracing, have a significant influence on some hydrological properties such as the available water content (AWC), the hydraulic conductivity (Ks) and the aggregate stability (WSA) (*Table 6.2*). Different letters indicate significant differences at 95% level of significance. Ks values are classified as high and very high (Porta et al., 2003). Significant differences were observed between Ks values of the abandoned areas (403 mm h^{-1} ; CV=0.24), in old vineyards (198 mm h^{-1} ; CV=0.44) and those observed in the new terraced vineyards, being the last the lowest measured values: 91 mm h^{-1} (CV=0.48) in those with crushed material on top vs. 146 mm h^{-1} (CV=0.58) in those without crushed material on top. These values as well as their high variability are of the same order of magnitude to those found by other authors in stony soils (Sauer and Logsdon, 2002), with high proportion of gravels.

Table 6.2. Mean values, standard deviation and coefficient of variation (CV) of some soil properties: bulk density; saturated hydraulic conductivity (Ks), water retention capacity at -33 kPa (FC) water retention capacity at -1500 kPa (WP); available water capacity (AWC) of soil surface; aggregate stability in <2mm soil mass (WSA) of each land use treatment- new terrace vineyards (T), new terraced vineyards with crashed material on top of the surface (TVc), old vineyards (OV), abandoned areas with natural vegetation (AB)-, number of sampling points (n).

Land use treatment (n)	Bulk Density (kg m ⁻³)	FC (%) (CV)	WP (%) (CV)	AWC (mm) (CV)	WSA (%) (CV)	Ks (mm h ⁻¹) (CV)
Values in <2 mm soil mass						
T (12)	1640±160 ^a (0.10)	31.8±20.1 ^a (0.63)	17.9±1.3 ^a (0.07)	44.5±26.2 ^{ab} (0.59)	64.4 ±13.0 ^a (0.20)	146.4±85.4 ^{ab} (0.58)
TVc (12)	1756±160 ^a (0.09)	14.7±7.6 ^b (0.52)	7.2 ± 1.5 ^b (0.14)	26.4±4.0 ^a (0.15)	52.5±17.3 ^a (0.33)	91.4±44.1 ^a (0.48)
OV (8)	1660±150 ^a (0.09)	41.6±23.9 ^a (0.57)	18.3± 1.8 ^a (0.10)	78.8±33.9 ^b (0.43)	78.8±7.7 ^b (0.10)	198.3±88.1 ^b (0.44)
AB (6)	1650±310 ^a (0.19)	30.4±21.4 ^a (0.70)	25.0 ± 3.4 ^{ac} (0.14)	131.1±27.7 ^c (0.21)	73.6±12.5 ^b (0.17)	403.2±95.8 ^c (0.24)
Values referred to total soil mass						
T (12)	1640±160 ^a (0.10)	13.9 ±8.6 ^a (0.62)	8.6±6.2 ^b (0.72)	17.2±7.5 ^{ab} (0.44)	21.4 ±11.0 ^{ab} (0.51)	146.4±85.4 ^{ab} (0.58)
TVc (12)	1756±160 ^a (0.09)	6.2 ±1.3 ^b (0.21)	3.1±0.8 ^a (0.26)	11.0±2.5 ^a (0.23)	16.2±8.9 ^a (0.55)	91.4±44.1 ^a (0.48)
OV (8)	1660±150 ^a (0.09)	14.0 ±1.0 ^{ab} (0.07)	6.8±5.8 ^b (0.85)	22.8±18.3 ^b (0.80)	27.4±5.6 ^b (0.24)	198.3±88.1 ^b (0.44)
AB (6)	1650±310 ^a (0.19)	28.0 ±1.70 ^c (0.06)	11.3±1.0 ^b (0.09)	57.7±14.0 ^c (0.24)	23.9±4.5 ^{ab} (0.19)	403.2±95.8 ^c (0.24)

*different letters and colours indicate significant differences between land use treatment.

Available water capacity (AWC) was also significantly reduced in the new situations: 17.2 mm (CV=0.44) in terraced vineyards and 10.9 mm (CV=0.23) in terraced vineyards with crushed material vs. 22.8 mm (CV=0.80) and 57.7 mm (CV=0.24) in the old vineyards and abandoned areas. According to those figures and the critical values established for soils with a xeric regime (Porta et al., 2003), the AWC of terraced soils can be classified as very low (< 64mm), which forces the new management systems to have support irrigation. In the study area, water infiltration rates are very high (Abreu, 2005), even in the step slope areas. The presence of rock fragments on the soil surface prevents from sealing and, as in most cases these steep slopes are not ploughed, the porosity is maintained, which favours water infiltration. However, in the disturbed soils, the removal of rock fragments leads to a decrease in infiltration because part of the porosity has disappeared and the soil surface has less protection.

However, water retention capacity is really low. The volumetric percentage of the rock fragments in the soil usually has a negative influence on the AWC. For soils developed on schist, Hanson and Blevins, (1979) pointed out that the available water for plants does not

always decrease when the percentage of rock fragments increases, which was not observed in the study case. However, other factors such as the size and the position of the rock fragments, on the surface or inside the soil profile has a large influence on the total water (Poesen and Lavee, 1994). In the study case, although most of water infiltrates and water losses by runoff are very low the available water content is scarce, and in the cases in which the top soil material was crushed, decreasing the rock fragments size, water retention did not increase. AWC and also hydraulic conductivity decreased, mainly due to the alteration of the soil porosity and the soil particle distribution within the soils. The alterations on AWC may imply stress conditions for plants during long dry periods, in particular in the seasons where rainfalls are scarce and water needs are higher (late spring and summer).

Proportions of water stable aggregates were lower in the terraced plots (WSA value of 64.4%, CV=0.20 and 52.5%; CV=0.33 in the uncrushed and crushed new vineyard topsoils, respectively) than in the old vineyard topsoils and the topsoils developed on abandoned areas with natural vegetation (WSA values of 73.6%; CV=0.17 and 78.7%; CV=0.1, respectively). Significant differences at 95% level were confirmed when the <2mm soil mass was considered. However, if the data were referred to total soil mass the differences were only significant between terraced soils with crushed material on the top (mean WSA = 16.1%) and in the traditional vineyards (mean WSA = 27.3 %). The other two land use treatments gave intermediate values: 21.3 % in terraces soil and 23.9% in the forest or the abandoned fields (*Table 6.2*). Despite the low organic matter content in the analysed soils, a significant correlation was observed between WSA and OM. This result is in agreement with that found by different authors in various soils types and managements (Tisdall and Oades, 1982; Chaney and Swift, 1984; Elwell, 1986; Bartoli et al., 1988; Dutarbre et al., 1993), who showed a strong association between organic C and water stable aggregates. Nevertheless, water stable aggregates in the study soils are very low when they are referred to total soil mass, although the observed values in <2mm soil mass may classify the soils of moderate stability.

On the other hand, other authors indicated the relationship between the organic matter content and some physical soil properties, such as soil porosity, structure and water-holding capacity (Tisdall and Oades, 1982; Diaz et al., 1994; León-González et al., 2000; Ourédraogo et al., 2001; Nyamangara et al., 2001), as well as biological activity (Carpenter-Boggs et al., 2000). In our study, the changes observed in hydraulic conductivity and available water capacity cannot be explained only by the observed changes in texture and organic matter. Although the increase in the fine silt fraction could help to seal the soils, the interpretation should include additional information about the changes in the pore redistribution and the break of the natural water circulation channels in the soil profile.

The comparison between treatments is specially relevant the results found in the areas where the crushed stone treatment was applied. The analysis of the variables, in particular those related to water infiltration and storage (FC, WP, AWC, WSA and Ks) showed lower values than the system of terraces without crushed treatment. Thus, this practice, which represents an additional cost for farmers, can not give the result expected, but unlike a decrease in the storage and infiltration capacity.

6.3.2. Relationship between variables under different land use treatments: multivariate analysis

6.3.3.1. Principal component analysis

The principal component analysis (PCA) of all topsoil samples allowed the similarity between the soil samples belonging to different land use treatments to be known (Figure 6.2). A clear difference between the samples belonging to the abandoned areas and most of samples belonging to the traditional vineyards was observed, being the rest of samples related to terraced vineyards highly correlated (without differences between soil surface crushed and uncrushed).

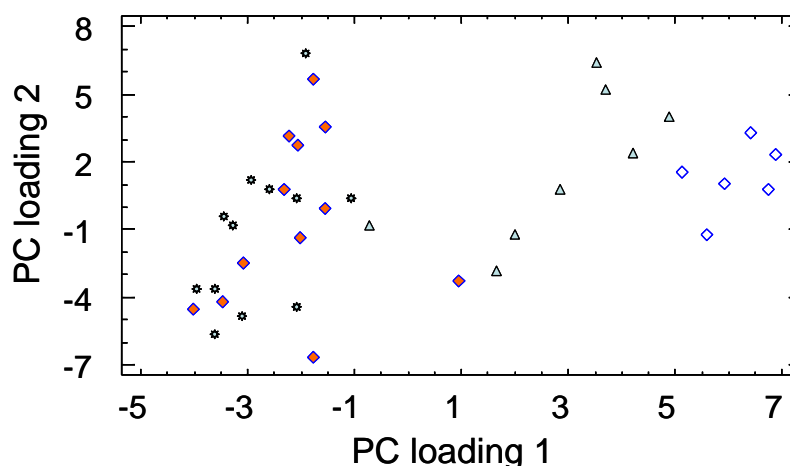


Figure 6.2. Dispersion diagram of soil samples after PCA analysis of all topsoil soil samples: * terraced vineyards; ◆ terraced vineyard with crushed material on top of the surface; △ old vineyard plot; ◇ abandoned area.

Using the factor scores obtained in this PCA for the four first principal components, which represented 86.5% of the total variance, significant differences were observed between terraced soil and the rest of samples (Figure 6.3).

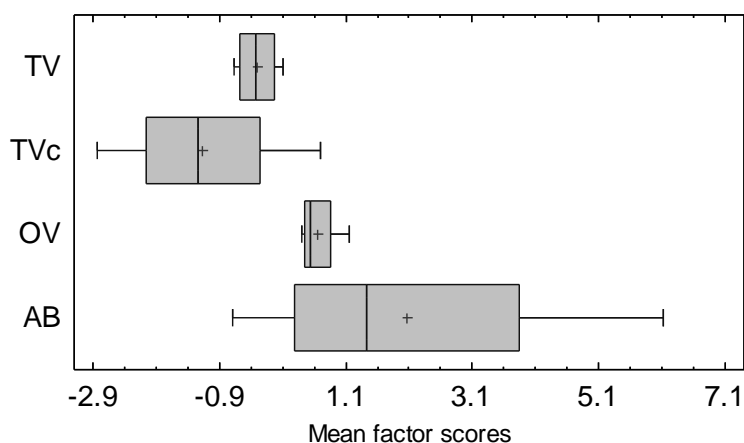


Figure 6.3. Differences between land use treatments according to the factor scores of the principal component analysis of all soil samples. The first four PC, representing 86% of total variance were retained (terrace vineyards (TV), terraced vineyards with crushed material on top of the surface (TVc), old vineyards (OV) and abandoned areas with natural vegetation (AB).

Due to the lack of significant differences between crushed and uncrushed terraced vineyard soils and between old vineyards and abandoned areas, two groups were considered in the following analysis: terraced vineyards (after land levelling and terracing operations: disturbed) and old vineyards + abandoned areas (without previous land levelling or soil alteration works: undisturbed). Principal component analysis of the variables of both series shows the relationship between them in each land use treatment (*Table 6.3* i *Table 6.4*).

Table 6.3. Varimax rotated Principal component loading (PCi) for the three first components (old vineyards + abandoned areas- undisturbed soils).

	PC 1	PC 2	PC 3	Estimated communality
AWC	0.956201	-0.0962936	0.0183493	0.92393
WP	0.778532	0.266859	-0.204359	0.979139
FC	0.957782	0.233773	-0.198279	0.719089
Clay	-0.927319	-0.198279	0.165086	0.926489
Silt	0.827418	-0.124595	0.127722	0.716457
Sand	-0.0524379	0.0386224	0.937068	0.882339
WSA	-0.0081158	0.825064	0.0283844	0.681602
Ks	0.660934	-0.0355872	-0.495617	0.683737
OM	0.0735394	0.754417	-0.012829	0.574718
BulkDens	-0.109143	-0.887234	-0.027368	0.799845
Eigenvalue	4.68122	2.11678	1.08934	
% total variance	46.812	21.168	10.893	
% cum. variance	46.812	67.980	78.87	

AWC: available water content; FC: water retention at -33 kPa; WP: water retention at -1500 kPa; Ks: saturated hydraulic conductivity; WSA: proportion of water stable aggregates; OM: organic matter content; BulkDens: bulk density; Clay: proportion of clay; Silt: proportion of silt; Sand: proportion of sand (all values are referred to total soil mass)

For the undisturbed areas, three components were retained with eigenvalues higher than one (Kaiser's rule; Kaiser and Rice, 1974), explaining 78.8% of total variance. The communality of all variables was higher than 0.5. Loading factors after varimax rotation and the eigenvalues are shown in *Table 6.3*. The first principal component, which represented 46.81% of the total variance, showed high values for the variables related to water retention capacity and hydraulic conductivity (FC, WP, AWC, Ks), which were positively correlated with the proportion of silt content and negatively correlated with the proportion of clay content. The second principal component, with 21.17% of total variance, showed high loading values of the parameters related to water aggregate stability and organic matter content, which were negatively correlated with bulk density. The third component was associated with the proportion of sand in the soil.

Figure 6.4 shows the projection of components 1 and 2 for the disturbed areas. If the number of principal components were increased up to four, the bulk density would change from PC1 to PC2, but the relationship between OM and WSA were lost, appearing the OM in a separate cluster.

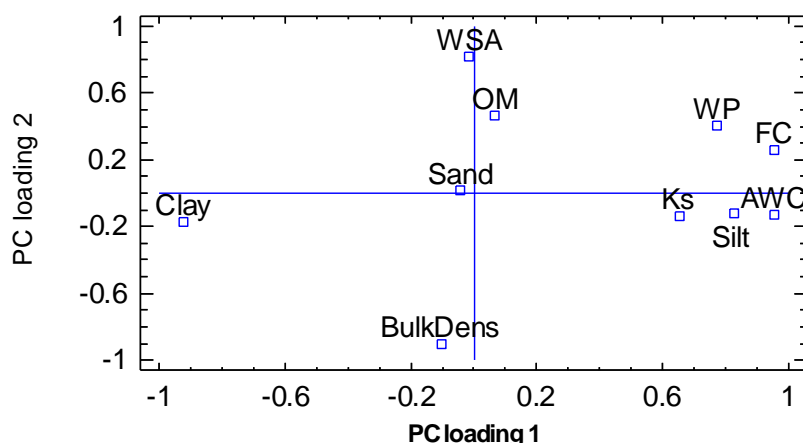


Figure 6.4. Varimax rotated principal component loadings: PC loading 2 vs. PC loading 1 (for old vineyards+abandoned areas with natural vegetation).

Principal component analysis. Loading factors after varimax rotation and the eigenvalues are shown in Table 6.4 after Principal component analysis.

Table 6.4: Varimax rotated Principal component loading (PCi) for the four first components (terraced vineyards- disturbed soils).

	PC 1	PC 2	PC 3	Estimated communality
AWC	0.83759	-0.067311	0.186552	0.907907
FC	0.94510	0.145188	0.220059	0.962725
WP	0.93981	0.0610936	0.239004	0.944103
Ks	0.37590	-0.241076	0.639652	0.608576
Clay	-0.45955	0.67673	0.336718	0.782536
Silt	0.06573	0.939699	0.13229	0.904821
Sand	0.183804	0.805321	-0.103026	0.692940
WSA	0.388237	0.351731	0.518994	0.543798
OM	0.187588	0.134453	0.727003	0.546959
BulkDens	-0.63791	-0.86216	0.061334	0.57665
Eigenvalue	3.89208	2.4027	1.07623	
% total variance	38.921	24.027	10.762	
% cum. variance	38.921	62.948	73.710	

AWC: available water content; FC: water retention at -33 kPa; WP: water retention at -1500 kPa; Ks: saturated hydraulic conductivity; WSA: proportion of water stable aggregates; OM: organic matter content; BulkDens: bulk density; Clay: proportion of clay; Silt: proportion of silt; Sand: proportion of sand (all values are referred to total soil mass)

For new mechanised terraced vineyards, following Kaiser's rule (Kaiser and Rice, 1974), three principal components which explain 73.7% of the total variance was retained. The first component, explaining 38.9% of total variance, showed high loading values for the variables associated with water retention capacity (WRC, FC and WP) which were negatively correlated with bulk density. The second component, which accounted for 24.03% of total variance, was

associated with soil particle distribution (clay, silt and sand content). The third component accounted for 10.73% of total variance and showed high loading values for WSA, OM and Ks.

Figure 6.5 shows the projection of components 1 and 2. In this case the relationship between Ks and the variable related to water retention was lost, and WSA loading was lower than in the undisturbed soils.

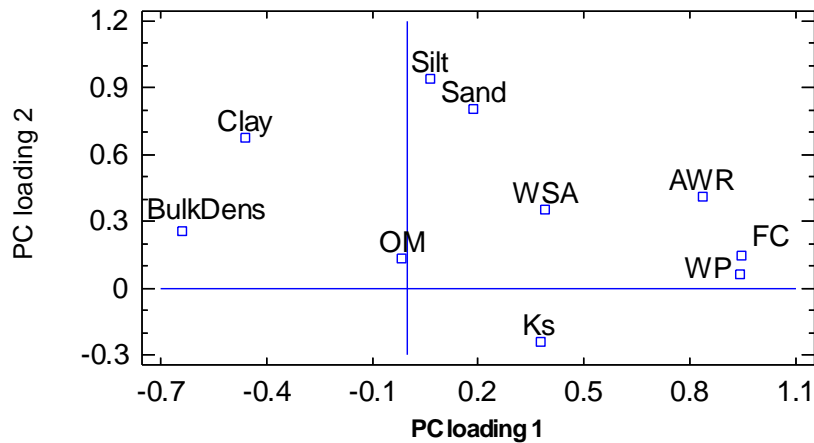


Figure 6.5. Varimax rotated principal component loadings: PC loading 2 vs. PC loading 1 (for terraced vineyards – disturbed plots).

The main differences between the two land use treatments are the lack of correlation between Ks and the variables related to water retention capacity in the terraced soils, which appear now in the component associated with aggregate stability, and the lack of correlation between these properties and the soil particle distribution. It is clear that the huge disturbance of the terrain for terrace construction and soil preparation is affecting typical relationships such as those existing between organic matter content and water stable aggregates and between different soil properties related to water infiltration and storage. In order to clarify the relationships between the analysed variables, a cluster analysis was performed using the same series.

6.3.3.2. Cluster analysis

The graphical representations of the results (dendograms) obtained with the group-average method and Ward's method are presented in Figure 6.6 and Figure 6.7 for both undisturbed and disturbed soils. Ward's method allows higher discrimination between groups.

For the undisturbed plots, three clusters could be considered according with both Ward's method and the group-average method (Figure 6.6). Both methods give similar results: one cluster grouping WSA and OM, other cluster grouping AWC, WP, FC, Ks and silt, which are in agreement with the relationship observed by the principal component analysis; and a third cluster including bulk density, clay and sand content, which are linked at higher distance than the variables included in the other two clusters. Bulk density and clay content, which appeared negatively correlated in the two first principal components, are now included in a separate group linked to the sand content.

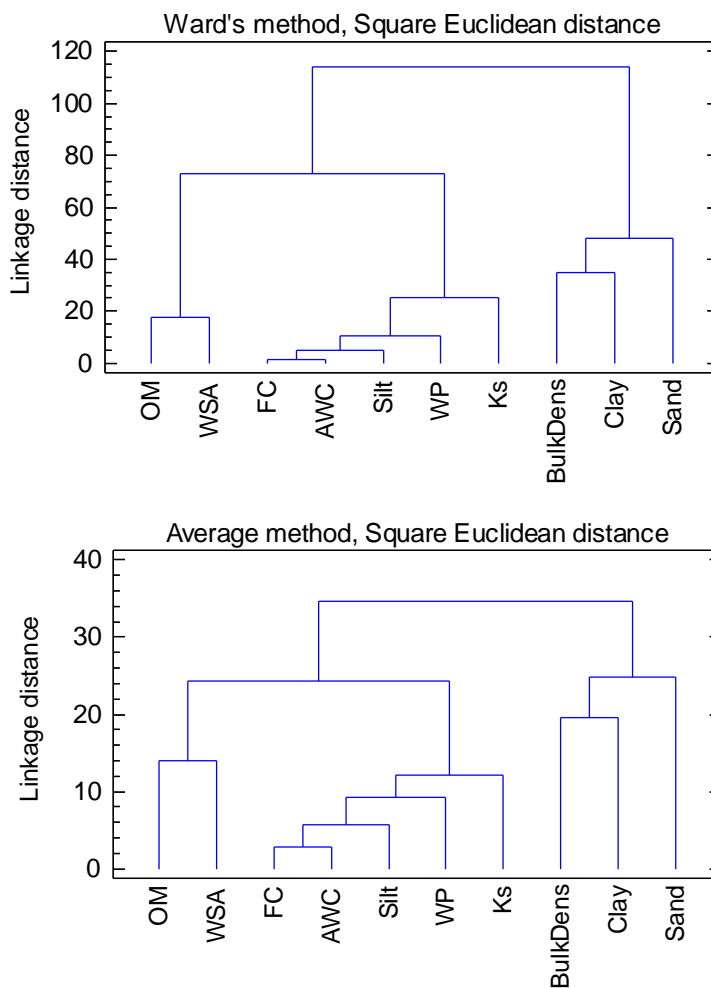


Figure 6.6. Dendrograms (Ward's method and average method) for the old vineyard+ abandoned areas (undisturbed soils).

When the same variables were analysed for the terraced vineyards (disturbed soils), cluster analysis with both methods showed a different number of clusters (Figure 6.7). While according with Ward's method the analysed variables were clustered into three groups, with the group-average method four clusters should be considered, due to the large distances at which some variables are linked to the nearest cluster. According to Ward's method, there was one cluster in which a high correlation between variables was observed. This cluster grouped the variables related to water retention capacity (AWC, FC, and WP). A second cluster included Ks, WSA and OM. The third group included bulk density and clay content linked at higher distances with silt and sand content. However, using the group-average method, although AWC, FC, and WP were highly correlated, there was no clear separation between these variables and those included in the second group of Ward's method, being Ks and WSA linked within this cluster at higher distances. A second cluster grouping the Clay, Silt and Sand fractions is observed. In addition, OM and Bulk density are separated into two clusters. These instabilities are in agreement with the results observed in the PC analysis, in which the increase from three to four PC separated OM in a new PC. However, while in the PC analysis with four PC retained there was difficult to explain the PC including high loading factors for WSA and Bulk density, the variable separation is now clearer. As it was argued before, the low organic matter content observed in terraced

soils after removing the top horizon for terrace construction and the higher variability in the values of these properties recorded in these situations are probably the cause of these instabilities.

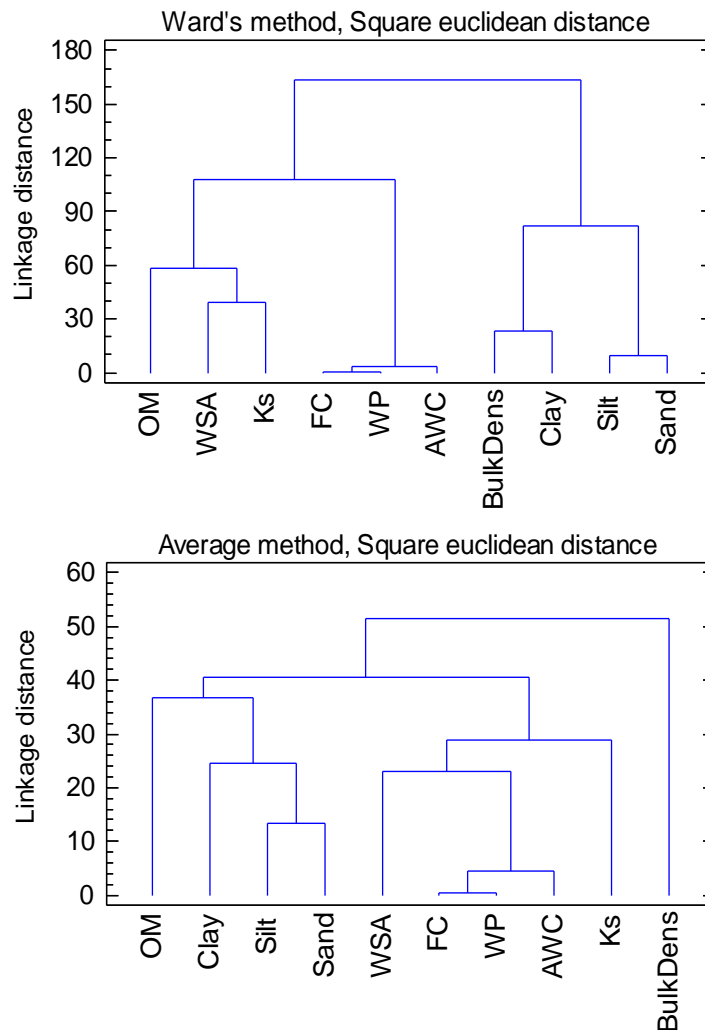


Figure 6.7. Dendograms (Ward's method and average) for the terraced vineyards (disturbed soils).

The combination of the different multivariate analysis techniques applied to the variables measured in different land use treatments (new terraced vineyards and traditional vineyards planted on steep slopes + abandoned areas, also without terraces) confirmed some changes in the relationship between variables. A strong correlation was observed in both cases between water retention capacity at both potentials and the available water capacity, but while on the undisturbed plots these variables were correlated with hydraulic conductivity, this was not the case in the new terraced vineyards after all multivariate analysis. In addition, the analysis confirmed that the correlation observed between aggregate stability and organic matter on the undisturbed plots disappeared on the new terraced plots due the levelling works. Instead, water stable aggregates and hydraulic conductivity seemed to show some correlation, but it was not well correlated with the organic matter content, although this correlation changes from one multivariate method to another.

Regarding the comparison of the different analysis techniques used to classify the variables, it is clear that it could be useful to use more than one method in order to extract as much information

as possible. Using hierarchical clustering has the advantage of representing graphically the clustering procedure with the dendrogram, which shows the combination of the variables that form the clusters and the number of clusters to be retained. It could always be useful to analyse and interpret different solutions for a different number of clusters or different numbers of components to be retained. The identification of the number of groups of variables or observations is a common problem in multivariate techniques, and it is not always satisfactorily solved using statistics (Heidam, 1982), especially in cluster techniques (Hartigan, 1985). Within the hierarchical technique, Ward's method allowed for a better interpretation of the results. However, the separation of some variables into specific clusters given by the group-average method implies the need to consider a higher number of clusters to give an interpretable solution, which in addition inform about instabilities in the relationship between variables.

6.4. CONCLUSIONS

Land transformations carried out in the Priorat area during the last few decades are modifying not only the landscape but also soil physical and hydrological properties:

- Multivariate techniques analysis (principal component and cluster analysis) show significant differences between disturbed and undisturbed plots in soil physical and hydrological properties. These techniques have been useful to classify treatments with several variables.
- A significant reduction of organic matter content (50%), available water capacity (80%), hydraulic conductivity (45%) and water aggregate stability (40%) has been observed in transformed plots.
- These properties show worse values in terraced vineyards with crushed material on top of the surface, compared to terraced vineyards without crushed treatment. Results show that additional crushing stone work not only represent an additional economic cost, but also have a negative impact on soil properties that can damage plants development.
- The use of the two multivariate techniques (principal component and cluster analysis) and the different aggregation methods do not give exactly the same classification. Ward's method allowed a consistent classification with principal component analysis. Nevertheless, it is very useful to employ more than one aggregation method, not only to confirm the number of clusters to be retained, but also to identify groups that could be lost if only one was used.
- Principal component and cluster analysis show a strong correlation in both cases between water retention capacity at both potentials and the available water capacity. However, while on the undisturbed plots these variables were correlated with hydraulic conductivity, this relationship was not observed in the new mechanised terraced vineyards.
- The strong correlation observed between aggregate stability and organic matter in the undisturbed plots is not clear on the new terraced plots. Instead, water stable aggregates and hydraulic conductivity show some correlation, but were not well correlated with the organic matter content. These facts confirm the changes taking place within the different land use scenarios analysed in relation to their physical and hydrologic soil properties.

6.5. REFERENCES

- Abreu X., 2005. Evaluación del efecto de las propiedades hidrológicas y sistema de manejo sobre la susceptibilidad a erosión superficial y en masa en suelos pedregosos con viña del Priorato (Cataluña, España). PhD Thesis. University of Lleida, Lleida, Spain.
- Agbenin J. O., Tiessen H., 1995. Soil properties and their variations on two contiguous hillslopes in Northeast Brazil, *Catena*, 24, 147-161.
- Ampontuah E.O., Robinson J.S., Nortcliff S., 2003. Assesment of soil particle redistribution on two contrasting cultivated hillslopes. In Book of Abstracts of "Soil erosion and sediment redistribution in river catchments: Measurements, modelling and management in the 21st century. Silsoe, UK., pp: 5
- Bartoli F., Philipp R., Burtin G., 1988. Aggregation in soils with small amounts of swelling clays. I. Aggregate stability. *Journal of Soil Science*, 39, 593-616.
- Bartoli F., Burtin G., Royer J. J., Gury M., Gomendy V., Philipp R., Leviandier T.H., Gafrej R., 1995. Spatial variability of topsoil characteristics within one silty soil type. Effects on clay migration. *Geoderma*, 68, 279-30.
- Bielsa I., Pons X., Bunce R.G.H., 2005. Agricultural abandonment in the north eastern Iberian Peninsula: The use of basic landscape metrics to support Planning. *Journal of Environmental Planning and Management*, 48, 85-102.
- Blake G.R., Hartge K.H., 1986. Bulk Density, in A. Klute, ed., *Methods of Soil Analysis, Part I. Physical and Mineralogical Methods: Agronomy Monograph no. 9* (2nd ed.). American Society of Agronomy. Madison. WI, pp. 363-375.
- Borselli L., Torri D., Øygarden L., De Alba S., Martínez-Casasnovas J.A., Bazzoffi P., Jakab G., 2006. Land levelling. In: Boardman, J., Poesen, J. (Editors). *Soil erosion in Europe*. John Wiley and Sons, Inc.
- Busch G., 2006. Future European agricultural landscapes-What can we learn from existing quantitative land use scenario studies?. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 114, 121-190.
- Carpenter-Boggs L., Kennedy A.C., Reganold J.P., 2000. Organic and biodynamic management: Effects on soil biology. *Soil Science Society of America*, 54, 1615-1659.
- Chaney K., Swift R.S., 1984. The influence of organic matter on aggregate stability in some British soils. *Journal of Soil Science*, 35, 223-230.
- Cots-Folch R., Martínez-Casasnovas J.A., Ramos C., 2006. Land terracing for new vineyard plantations in the north-eastern Spanish Mediterranean region: Landscape effects of the EU Council Regulation policy for vineyards' restructuring. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 115, 88-96.
- Cousin I., Nicoullaud B., Coutadeur C., 2003. Influence of rock fragments on the water retention and water percolation in a calcareous soil. *Catena*, 53, 97-114.
- De Alba S., Lindstrom M., Schumacher T.E., Malo D.D., 2004. Soil landscape evolution due to soil redistribution by tillage: a new conceptual model of soil catena evolution in agricultural landscapes. *Catena*, 58, 77-100.

- Dercon G., Deckers J., Govers G., Poesen J., Sánchez H., Vanegas R., Ramírez M., Loaiza G., 2003. Spatial variability in soil properties on slow-forming terraces in the Andes region of Ecuador. *Soil and Tillage Research*, 72, 31-41.
- Diaz E., Roldán A., Lax A., Albadalejo J., 1994. Formation of stable aggregates in degraded soil by amendment with urban refuse and peat. *Geoderma*, 63, 277-288.
- Dutartre Ph., Bartoli F., Andreu F., Porta J.M. , Ange A., 1993. Influence of content and nature of organic matter on the structure of some sandy soils from West Africa. *Geoderma*, 56, 459-478
- Ferrero A., Usowicz B., Lipiec J., 2005. Effects of tractor traffic on spatial variability of soil strength and water content in grass covered and cultivated sloping vineyard. *Soil and Tillage Research*, 84, 127-138.
- Fonseca F., 2006. Balance Hídrico en suelos pedregosos con viña de secano en el Priorat (Cataluña). Efectos por cambios de manejo y clima. PhD Thesis. University of Lleida. pp 139.
- García-Ruiz J.M., Lasanta T., Ruiz-Flaño P., Ortigosa L., White S., González C., Marti C., 1996. Land-use changes and sustainable development in mountain areas: a case study in the Spanish Pyrenees. *Landscape Ecology*, 11, 267-277.
- Gee G.W., Bauder J.W., 1986. Particle size analysis, in C.A. Black, D.D. Evans, L.E. Ensminger, J.L. White, F.E. Clark and R.C. Dinauer (eds). *Methods of Soil Analysis. Part I. Agronomy*, 9, American Society of Agronomy. Madison. WI. pp 393-411.
- Hanson, C.T., Blevins, R.L., 1979. Soil water in coarse fragments. *Soil Science Society of America Journal*, 43, 819-820.
- Hartigan J.A., 1985. Statistical theory in clustering. *Journal of Classification*, 2, 63-76.
- Heidam, N.Z., 1982. Atmospheric aerosol, factor models, mass and missing data. *Atmospheric Environment*, 16, 1923-1931.
- Janeau J.L., Bricquet J.P., Planchon O., Valentin C., 2003 Soil crusting and infiltration on steep slopes in northern Thailand. *European Journal of Soil Science*, 54, 543-554.
- Kaiser H.F., Rice J., 1974. Little jiffy, mark IV. *Educational and Psychological Measurement*, 34, 111-117.
- Kemper W.D., Rosenau R.C., 1986. Aggregate stability and size distribution. In: *Methods of Soil Analysis. Part I, Physical and Mineralogical Methods*. 2nd edition A. Klute (ed.). *Agronomy 9: American Society of Agronomy*. Madison. WI, pp 425-442.
- Léonard J., Andrieux P., 1998. Infiltration characteristics of soils in Mediterranean vineyards in southern France. *Catena*, 32, 209-223.
- León-González F., Hernández-Serrano M.M., Etchevers J.D., Payán-Zelaya F., Ordaz-Chaparro V., 2000. Short-term effect on macroaggregation in a sandy soil under low rainfall in the Valley of Mexico. *Soil and Tillage Research*, 56, 213-217.
- Lundekvam H.E., Romstad E., Øygarden L., 2003. Agricultural policies in Norway and effects on soil erosion. *Environmental Science and Policy*, 6, 57-67.
- Malet J.P., Auzet A.V., Maquaire O., Ambroise B., Descroix L., Esteves M., Vandervaere J.P., Truchet E., 2003. Soil surface characteristics influence on infiltration in black marls: application

- to the Super-Sauze earthflow (southern Alps, France). *Earth Surface Processes and Landforms*, 28, 547-564.
- Martínez-Casasnovas J.A., 1998. Soil-landscaper-erosion. Gully erosion in the Alt Penedès-Anoia (Catalonia, Spain). A spatial information technology approach: spatial databases, GIS and remote sensing. Ph. D. Thesis, University of Lleida, Lleida, Spain.
- Martínez-Casasnovas J.A., Sánchez-Bosch I., 2000. Impact assessment of changes in land use/conservation practices on soil erosion in the Penedès-Anoia vineyard region (NE Spain). *Soil and Tillage Research*, 57, 101-106.
- Massart D.L., Kaufman L., 1983. The interpretation of analytical chemical data by the use of cluster analysis. John Wiley and Sons, Inc. New York.
- Milligan G.W., 1980. An examination of the effect of six types of error perturbation on fifteen clustering algorithms. *Psychometrika*, 45, 325-342.
- Nelson D.W., Sommers L.E., 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. In (eds), A.L. Page et al. (ed), *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties*, 2nd ed, Agronomy 9, American Society of Agronomy. Madison. WI, Madison, WI, pp 539-577.
- Nyamangara J., Gotosa J., Mpofo S.E., 2001. Cattle manure effects on structural stability and water retention capacity of a granitic sandy soil in Zimbabwe. *Soil and Tillage Research*, 62, 157-162.
- Ouédraogo E., Mando A.M., Zombré N.P., 2001. Use of compost to improve soil properties and crop productivity under low input agricultural system in West Africa. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 84, 259-266.
- Perroux, K.M., White, I. 1998. Designs for disc permeameters. *Soil Science Society of America Journal*, 52, 1205-1215.
- Pla I., 1983. Metodología para la caracterización física con fines de diagnóstico de problemas de manejo y conservación de los suelos en condiciones tropicales. In: Alcance 32. Revista de la Facultad de Agronomía 34: Universidad Central de Venezuela. Maracay, Venezuela. pp 91.
- Pla I., Nacci S., 2003. Traditional compared to new systems for land management in vineyards of Catalonia (Spain). In: *Techniques Traditionnelles de GCES en milieu méditerranéen* (Eds. Roose, E., et al). *Bulletin Réseau Erosion*, 21, 213-223. Montpellier, France.
- Poesen J.W., Ingelmo-Sánchez F., Múcher H., 1990. The hydrological response of soil surfaces to rainfall as affected by cover, position and rock fragments in the top layer. *Earth, Surfaces, Processes and Landforms*, 16, 653-671.
- Poesen J., Lavee H., 1994. Rock fragments in top soils: significance and processes. *Catena*, 23, 1-28.
- Porta J., López-Acevedo M., Roquero C., 2003. *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. Mundi-Prensa, 3a Edición, Madrid.
- Sauer T.J., Logsdon S.D. 2002. Hydraulic and physical Properties of stony soils in a small catchment. *Soil Science Society of America Journal*, 66, 1947-1956
- Sevink K., Vertraten J.M., Jongejans J., 1998. The relevance of humus forms for land degradation in Mediterranean mopuntainous areas. *Geomorphology*, 23, 295-292.

- Thapa B.B., Cassel D.K., Garrity D.P., 1999. Assessment of tillage erosion rates on steeppland Oxisols in the humid tropics using granite rocks. *Soil Tillage Research*, 51, 233–243.
- Tisdall J.M., Oades J.M., 1982. Organic matter and water stable aggregates in soils. *Journal of Soil Science*, 33, 141-163.
- Torri D., Borselli L., Calzolari C., Yañez M., Salvador-Sanchis M.P., 2002. Soil erosion, land use, soil quality and soil functions: effects of erosion. In: Rubio, J.L., Morgan, R.P.C., Asins, S., Andreu, V. (Eds.), *Man and soil at the third millennium*. Geofoma Ediciones—CIDE, Logroño, Spain, pp 131-148.
- Turkelboom F., Ongprasert S., Taejajai U., 1996. Soil fertility dynamics in steep land alley farming. In: Sajjapongse, A. (Ed.), *Proceedings of the Seventh Annual Meeting on the Management of Sloping Lands for Sustainable Agriculture in Asia*, DLD and IBSRAM, Chiang Mai, Thailand, October 16–20, 1995.
- Turkelboom F., Poesen J., Ohler I., Van Keer K., Ongprassert S., Vlassak K., 1997. Assessment of tillage erosion rates on steep slopes in northern Thailand. *Catena*, 29, 29–44.
- Usón A., 1998. Medidas de control de la erosion en suelos de viña de la comarcas Anoia-Alt Penedès (Barcelona): Efectividad y variabilidad. PhD Thesis. University of Lleida, Lleida, Spain.
- Van Muysen W., Govers G., Bergkamp G., Roxo M., Poesen J., 1999. Measurement and modelling of the effects of initial soil conditions and slope gradient on soil translocation by tillage. *Soil and Tillage Research*, 51, 303-316.
- Zalidis G., Stamatiadis S., Takavakoglou V., Eskridge K., Misopolinos N., 2002. Impacts of agricultural practices on soil and water quality in the Mediterranean region and proposed assessment methodology. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 88, 137–146.

7. CONCLUSIONS GENERALS

Capítol 7

CONCLUSIONS GENERALS

7.1. CONCLUSIONS

La present investigació permet aprofundir en el coneixement de les transformacions històriques i actuals dels usos i cobertes del sòl i els seus efectes en els sistemes agrícoles, sobre la morfologia del terreny i les propietats dels sòls en una àrea de la DOQ Priorat, representativa del paisatge rural mediterrani de zones de muntanya. De l'anàlisi realitzada se'n deriven les següents conclusions:

7.1.1. Dels canvis produïts en el territori

- La DOQ Priorat (municipi de Porrera com a terme representatiu) ha sofert importants canvis d'usos i cobertes del sòl en el període 1956-2005 associats a l'activitat agrícola, en que s'ha transformat el 76% de la superfície, amb el cultiu de la vinya com a principal protagonista. Els principals processos detectats són: l'abandonament dels usos agrícoles tradicionals, la intensificació agrícola de vinya aterassada, la conversió entre usos agrícoles i la recuperació del cultiu tradicional de la vinya.
- L'any 1954 el 44% del territori era agrícola, mentre que el 2005 només ho era el 20%, i la vinya ocupava el 16% del total del territori. Els valors actuals són molt inferiors als de finals del s. XIX, quan l'extensió de vinya va assolir el seu màxim històric. L'any 1998, en canvi, es registra el mínim de superfície agrícola (15%).
- Del 1956 al 1998 el procés dominant és l'abandonament agrícola, amb la pèrdua del 50% de les terres agrícoles, principalment de cultiu de vinya tradicional. Del 1998 al 2005 es continua observant un abandonament agrícola però aquest ja només es dona en els cultius de fruits secs.
- Del 1998 al 2005 s'observa un procés d'intensificació agrícola, marcat per l'increment de la vinya aterassada en un 217%, que representa el 60% dels usos agrícoles. Tot plegat no es basa en la recuperació de cultius tradicionals, sinó que el 70% de la nova vinya aterassada es fa sobre usos forestals. La intensificació inverteix la tendència d'abandonament continu que s'ha observat en la majoria d'àrees rurals mediterrànies.
- També, del 1998 al 2005, s'observa una lleugera recuperació de les vinyes tradicionals, que incrementen la superfície un 23%. El 50% de les noves vinyes tradicionals són recuperades.
- Addicionalment s'observen dos escenaris de conversió agrícola: del 1956 al 1986 el 21% de la vinya tradicional es transforma en cultius de fruits secs, mentre que, del 1998 al 2005, el 18% de cultius de fruits secs són transformats en vinya abançada.
- L'anàlisi factorial realitzada mostra que el procés d'intensificació és independent de l'abandonament agrícola. Així, el procés d'intensificació no suposa menys abandonament, i els agricultors amb major àrea intensificada apareixen com els que tenen més superfície abandonada.
- L'estructura de sistemes agrícoles al Priorat presenta una elevada heterogeneïtat. La gran majoria dels agricultors (88%) combinen diferents tipus de cultius (vinya i cultius de fruits secs) i sistemes de maneig (tradicional i aterassat), repartits en parcel·les petites i

discontínues en l'espai. Aquesta configuració agrícola respon al sistema agrícola tradicional mediterrani.

- Per contra, només el 12% d'agricultors són els propietaris del 61% de les plantacions de vinya mecanitzada, i del 42% del total de terreny agrícola. Aquests agricultors han incrementat considerablement la mida mitjana de les parcel·les fins a 32 ha, la qual cosa representa un increment de 4 a 5 vegades. Aquests trets manifesten que les grans transformacions del territori (en quantitat i impacte) estan en mans d'un nombre reduït de propietaris.
- Aquest grup de propietaris amb major impacte sobre el paisatge són els que reben la majoria de subsidis de la UE, el 68% dels totals atorgats a la zona. Per altra banda, els propietaris amb major percentatge de terreny abandonat només reben el 18% dels subsidis. Les esmentades polítiques han encoratjat els agricultors a dur a terme treballs d'aterrament en lloc d'incentivar la recuperació de cultius tradicionals, amb major valor afegit al territori.
- Les polítiques de la Unió Europea, que han subvencionat el 50% dels costos d'aterrament, han actuat com a estímulo dels processos d'intensificació, sense tenir en consideració la sostenibilitat de les pràctiques de maneig dels paisatges tradicionals, i han condicionat la manera com s'ha transformat l'entorn i la muntanya al Priorat.
- Els factors socioeconòmics s'evidencien com el principal agent conductor dels canvis i de les estratègies agrícoles, per davant de les limitacions orogràfiques.
- Els aterraments del Priorat suposen el desplaçament de grans volums de terra ($5.437 \pm 517 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ o $9.460 \pm 900 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$), equivalents als que es donen en situacions catastròfiques de fenòmens naturals de moviments en massa. Això confirma l'aterrament com un procés geomorfològic important, que està modificant i redistribuint el terreny en diverses àrees de la regió mediterrània. A més, la gran mobilització de sòl, material original i roca comporten la pèrdua del perfil original del sòl.
- Aquesta redistribució implica que hi hagi una extracció de materials en zones de cresta i una addició de material en zones de valls i/o barrancs que acaba donant lloc a una elevada variabilitat del terreny i a un heterogeni desenvolupament de la vinya.
- La manca de disseny acurat de les terrasses i la manca de fixació dels talussos dona lloc al col·lapse de terrasses que causa danys sobre les infraestructures i la vinya. En la parcel·la a estudi, s'han comptabilitzat 73 moviments en massa dels talussos de les terrasses, que han afectat el 3,5% del total de superfície cultivada.
- El cost d'aterrament representa el 34% del cost total d'una nova vinya mecanitzada i és la operació que reb el subsidi màxim de la UE (fins a 18.752 €/ha). Aquesta aport encoratja als agricultors del Priorat a crear plantacions de vinya mecanitzada en detriment de les plantacions tradicionals.
- L'anàlisi de components principals mostra diferències significatives en algunes propietats del sòl entre el sistema tradicional i el nou sistema d'aterraments.
- En les vinyes aterrades, es redueix significativament el contingut de matèria orgànica, l'estabilitat d'agregats, la capacitat de retenció d'aigua i la conductivitat hidràulica. Tot i la reducció dels valors de les propietats hidràuliques, cal destacar que els valors no canvien significativament com per afectar la disponibilitat d'aigua per al cultiu de la vinya en condicions meteorològiques normals.

- L'anàlisi de components principals i clústers mostra una forta correlació en tots els casos entre les variables que mesuren la disponibilitat d'aigua. Ara bé, mentre en les parcel·les no aterassades aquests valors apareixen relacionats amb la conductivitat hidràulica, aquesta relació no s'observa en les parcel·les aterassades. Així mateix la correlació que s'observa entre l'estabilitat d'agregats i la matèria orgànica en les parcel·les aterassades, no és clara en les parcel·les aterassades.
- Els treballs de trituració dels elements grossos superficials no ajuden a millorar les propietats del sòl sinó que les empitjora substancialment i no justifica el cost addicional d'aquesta pràctica.
- L'impacte dels aterassaments qüestiona l'efectivitat de les polítiques europees, creades amb l'objectiu de reduir l'impacte sobre els recursos sòl i paisatge.

7.1.2. Sobre la metodologia aplicada

- El procediment fotogramètric utilitzat en l'estudi (que inclou el costós procés d'ortorectificació) ha resultat fonamental per poder obtenir un material cartogràfic de qualitat com a base per a l'elaboració de cartografia detallada (1:5.000). L'ortorectificació ha permès el càlcul real de la superfície i una comparativa temporal de mapes sense sobreestimar o subestimar els canvis d'usos del territori.
- La metodologia de classificació semiautomàtica d'ortomatges mitjançant xarxes neuronals i patrons texturals presenta una fiabilitat baixa. Tanmateix, es demostra que la metodologia es capaç de reconèixer els patrons texturals en fotografies aèries en blanc i negre. Això obre la possibilitat a noves línies d'investigació per trobar un sistema de classificació semiautomàtic per a aquest tipus d'imatges, inexistent fins al moment.
- La fotointerpretació de les fotografies ortorectificades ha permès elaborar una cartografia que permet una diferenciació dels sistemes de maneig, i que no presenta la cartografia disponible. Això permet avaluar no només els canvis d'usos sinó caracteritzar molt millor processos com la intensificació o l'abandonament.
- Les enquestes als agricultors ha permès obtenir i analitzar la combinació de dades socioeconòmiques i d'usos del sòl a la zona. Aquesta doble informació ha resultat essencial per detectar les decisions a nivell d'agricultor i el grau d'influència de les polítiques europees.
- Mitjançant l'anàlisi factorial i de clústers s'ha identificat l'estructura agrícola de la zona. L'estudi posa en evidència l'efectivitat de realitzar una anàlisi factorial prèvia en casos amb múltiples processos agrícoles ja que l'aplicació d'un únic clúster global pot emascarar informació important.
- Més enllà de l'habitual comparativa de diferències significatives entre els valors de les propietats del sòl, la combinació de tècniques d'anàlisi multivariant ha permès anar més enllà i analitzar les diferències entre els diferents sistemes de maneig a nivell integral, i també les relacions existents entre variables.

7.2. CONSIDERACIONS FINALS I RECOMANACIONS

- Base per a la regulació local. Estudis com el presentat han servit com a eina de coneixement i de sensibilització a les entitats de la zona. D'entre les accions desencadenades de l'estudi destaca la nova regulació interna de la DOQ Priorat per controlar els nous aterrossaments i plantacions, amb l'objectiu únic de preservar l'entorn i evitar un impacte paisatgístic negatiu. A més s'ha realitzat una zonificació del territori en què es detallen zones excloses de plantació de vinya, zones de protecció on només es pot plantar vinya en coster i zones boscoses de plantació de vinya abancalada condicionada a anàlisi. Així mateix, els nous aterrossaments han de complir uns paràmetres màxims o mínims, com pot ser l'alçada del talús i la forma dels bancals.
- Disseny de polítiques futures. La investigació serveix als agents del territori com a eina de control dels canvis, tant a nivell local com regional. L'impacte dels canvis es podria veure reduït si aquests es dissenyessin sota una perspectiva de mesures de conservació de sòls i es monitoritzessin per les autoritats encarregades de controlar els subsidis. A més, es posa en evidència la necessitat que tant els propietaris com les autoritats treballin de forma conjunta en l'assoliment d'un objectiu comú de conservació del territori.
- Dubtosa viabilitat de les transformacions. La ràpida transformació dels cultius ha suposat un excés de producció de vi a la zona. Algunes de les conseqüències que s'han començat a observar ha estat l'abandonament de plantacions aterrossades, cosa que posa en dubte la viabilitat d'aquestes explotacions, que d'altra banda han rebut la majoria d'ajuts europeus per a la seva construcció.
- Contradicció de polítiques. Així mateix, les actuals polítiques estan encarades a la supressió de plantacions de vinya. Aquesta evidència posa en qüestió l'efectivitat d'anteriors polítiques europees com les analitzades a l'estudi, i que, en el cas del Priorat, han anat destinades a pagar les grans transformacions. Els agents i les estratègies de maneig que tenen un impacte en el territori haurien de ser identificats i considerats per a l'establiment de polítiques i evitar així situacions contradictòries.
- Exemple de desenvolupament rural. Els canvis detectats a la regió del Priorat mostren una nova tendència agrícola de zones rurals fins al moment en procés de marginalització. La revalorització econòmica del producte ha estat capaç de donar un gir als usos agrícoles de l'àrea. Aquest cas pot servir d'exemple per al desenvolupament d'altres zones rurals: en lloc de destinar polítiques i diners a subvencionar activitats a fons perdut, pot resultar molt més efectiu realitzar esforços a aconseguir la revalorització dels productes locals.



DOCTORANDA
Roser Cots Folch

DIRECTORS
**J. Antonio Martínez
Casasnovas**

**M. Concepción
Ramos Martín**

Gener 2013



Universitat de Lleida
Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Agrària